

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique**



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued



FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

Spécialité : Réseaux Electrique

Thème

**Résolution du problème de dispatching
économique à l'aide d'une méthode
d'optimisation métaheuristique**

Réalisé par :

 FETHIZA ALI Abdelkrim

 LASSOUED Abbas

 REMHA Ayoub

 TOUATI HAMED Youcef

Encadré par :

Dr. LABBI Yacine

Année Universitaire 2021/2022



﴿ رَبَّنَا لَا تُؤَاخِذْنَا إِنْ نَسِينَا أَوْ أَخْطَأْنَا رَبَّنَا وَلَا تَحْمِلْ عَلَيْنَا إصْرًا كَمَا حَمَلْتَهُ
عَلَى الَّذِينَ مِنْ قَبْلِنَا رَبَّنَا وَلَا تُحَمِّلْنَا مَا لِطَاقَةِ لَنَا بِهِ وَاعْفُ عَنَّا وَاعْفِرْ لَنَا
وَارْحَمْنَا أَنْتَ مَوْلَانَا فَانصُرْنَا عَلَى الْقَوْمِ الْكَافِرِينَ ﴾ سورة البقرة : الآية 286 .

" صدق الله العظيم "



Remerciements


Tout d'abord, je remercie dieu -ALLAH- de tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience durant toutes ces années d'études.

*Je tiens à exprimer toute ma gratitude et mes sincères remerciements à Monsieur **Dr : LABBI Yacine**, Docteur à L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued, pour avoir dirigé ce travail.*

Mes sincères remerciements aux messieurs les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en participant au jugement de ce travail.

Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui nous ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.

En fin je remercie tout particulièrement mes parents, pour leur soutien inconditionnel tout au long de ces longues années d'études.





Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents qui m'ont soutenu durant toute la durée de mes études.

À mes très chères sœurs et à ma grande famille.

À tous mes amis.

À tous ceux qui m'aiment et que j'aime

À vous.



الملخص
résumé
Abstract

Résumé

Cette recherche nous a permis de connaître les problèmes des réseaux électriques à travers le flux d'énergie et d'améliorer le coût à travers certaines applications sur les méthodes de calcul. Le présent travail nous a permis la minimisation du coût de production de l'énergie électrique qui est connue du point de vue économique sous le nom « Dispatching Optimal».

L'importance de cette méthode est l'économie de l'énergie électrique qui nous ramène à un bilan de puissances équilibré entre la génération et la consommation.

Cette mémoire décrit une nouvelle approche hybride basée sur une combinaison d'algorithme génétique (GA) et de recherche de modèle (PS) pour étudier les problèmes de répartition économique des systèmes d'alimentation. Des cas de test de remorquage (PS et GA-PS) ont été étudiés et des comparaisons de la qualité de la solution et des performances ont été effectuées.

Mots clés : Réseau électrique, Ecoulement de puissance optimal , Dispatching économique

Abstract

This research has allowed us to know the problems of electrical networks through the flow of energy and to improve the cost through certain applications on the calculation methods. This work has allowed us to minimize the cost of producing electrical energy, which is known from an economic point of view as “Optimal Dispatching”.

The importance of this method is the saving of electrical energy which brings us back to a balanced power balance between generation and consumption.

This thesis describes a novel hybrid approach based on a combination of Genetic Algorithm (GA) and Pattern Search (PS) to study problems of economic distribution of power systems. Towing test cases (PS and GA-PS) were investigated and comparisons of solution quality and performance were made.

Keywords: Electrical network, Optimal power flow, Economic dispatching.

الملخص

أتاح لنا هذا البحث معرفة مشاكل الشبكات الكهربائية من خلال تدفق الطاقة وتحسين التكلفة من خلال تطبيقات معينة على طرق الحساب. لقد سمح لنا هذا العمل بتقليل تكلفة إنتاج الطاقة الكهربائية ، وهو ما يُعرف من وجهة نظر اقتصادية باسم "التوزيع الأمثل".

تكمن أهمية هذه الطريقة في توفير الطاقة الكهربائية التي تعيدنا إلى توازن طاقة متوازن بين التوليد والاستهلاك.

تصف هذه الأطروحة نهجًا هجينًا جديدًا يعتمد على مزيج من الخوارزمية الجينية (GA) و **Pattern Search (PS)** لدراسة مشاكل التوزيع الاقتصادي لأنظمة الطاقة. تم فحص حالات اختبار القطر (PS و **GA-PS**) وتم إجراء مقارنات بين جودة الحل والأداء.

الكلمات المفتاحية: الشبكة الكهربائية ، التدفق الأمثل للطاقة ، التوزيع الاقتصادي



Sommaire

Remerciement

Dédicace

Résumé

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

a

CHAPITRE I : Ecoulement de puissance optimale dans un réseau électrique	
I.1.Introduction	4
I.2 Définition du réseau électrique	4
I .2.1 Réseau de transport	4
I.2.2 Réseau de répartition	4
I.2.3 Réseau de distribution	5
I.3 Description et modélisation des éléments d'un réseau électrique	5
I.3.1 Description des éléments d'un réseau électrique	5
I.3.1.1 Les groupe de production	5
I.3.1.2 Les liaisons	5
I.3.1.3 Les charges	6
I.3.1.4 Les jeux de barres	6
I.3.1.5 Les éléments shunts	6
I.3.2 Modélisation des éléments d'un réseau électrique	6
I.3.2.1 Les générateurs	6
I.3.2.2 Les lignes	7
I.3.2.3 Les transformateurs	8
I.3.2.4 Les charge	9
I.4 Ecoulement de puissance	10
I.4.1 La puissance	10
I.4.2 Equation de l'écoulement de puissance	10
I .4.2.1 Formulation de la matrice admittance	10
I.4.2.2 Equation d'un réseau électrique	12

I.5. Ecoulement de puissance optimale	12
I.5.1 Objectif de l'écoulement de puissance optimal.	12
I.5.2 Définition du problème de l'écoulement de puissance optimal	13
I.5.2.1 L'écoulement de puissance ordinaire	13
I.5.2.2 L'écoulement de puissance optimal	14
I.5.2.3 Limites opérationnelles	17
I.5.3 Formulation des contraintes EPO	19
I.5.3.1 Contraintes d'égalité	19
I.5.3.2 Contraintes d'inégalité	19
I.5.3.3 Fonctions objectives	20
I.5.4 Classification des variables de l'écoulement de puissance	21
I.5.5 Méthodes classiques appliquées au problème de l'écoulement de puissance optimal	23
I.5.6 Résumé sur la formulation de l'EPO	23
I.6 Conclusion	25
Chapitre II: Dispatching économique	
II.1 Introduction	27
II.2 Aperçu sur l'architecture des réseaux électriques	27
II.3 La stratégie du fonctionnement des centrales électriques	28
II.3.1 Unités de charge de base	28
II.3.2 Unités intermédiaires	29
II.3.3 Unités de pointes	29
II.3.4 Unité de réserve	29
II.4 Dispatching économique	30
II.4.1 Définition dispatching économique	30
II.4.2 L'objectif du dispatching économique	30
II.4.3 La fonction coût et Incrémentation du coût	30
II.4.3.1 La fonction coût	30
II.4.3.2 Incrémentation du coût	31
II.5 Les contraintes	32
II.5.1 Contraintes d'égalité	32
II.5.1.1 Cas d'un système sans pertes	32
II.5.1.2 Cas d'un système avec pertes	32
II.5.2 Contraintes d'inégalité	33
II.6 Formulation mathématique du problème dispatching économique	33

II.6.1 Dispatching économique sans pertes	33
II.6.1.1 Méthodes graphique du problème dispatching économique	33
II.6.1.2 Méthodes lagrangien	34
II.6.2 Dispatching économique avec pertes	35
II.6.2.1 Calcule les pertes	36
II.6.2.2 Incrémentation des pertes de transmission	37
II.6.2.3 La résolution du problème	37
II.7 Le modèle mathématique de dispatching environnemental	39
II.8 Le coût du combustible avec l'effet d'ouverture des vannes	40
II.9.L'optimisation multi-objective	41
II.9.1 Définition	41
II.9.1.1 Choix d'une méthode	42
II.9.1.2 Les différentes méthodes	43
II.9.2 Les méthodes déterministes	43
II.9.3. Les méthodes stochastiques	44
II.10 Conclusion	45
CHAPITRE III : Méthodes D'optimisations Méta-heuristiques	
III.1. Introduction.	47
III.2. Méthodes Méta heuristiques	47
III.2.1. Définition des Méthodes Méta heuristiques	48
III.2.2. Principe de Voisinage	49
III.2.3. Algorithme génétique	50
III.3. Optimisation des écosystèmes artificiels (AEO) et formulation mathématique	50
III.3.1. Production	52
III.3.2. Consommation	53
III.3.3. Décomposition	54
III.4. Algorithme d'optimisation des baleines(WOA)	55
III.4.1. Mode d'alimentation de la baleine – Encerclement de la proie.	57
III.4.2. Attaque au filet à bulles	58
III.8. Conclusion	59
CHAPITRE IV : Application et Résultats	
IV.1.Introduction	62
IV.2. Test et application	62
IV.2.1. Sélection de paramètre	62

IV.2.2. Réseau test Sonelgaz (ouest de l'Algérie)	63
IV.2.2.1. Calcul avec les pertes constantes (premier cas)	64
IV.2.2.2. Calcul avec les pertes variables (deuxième cas)	66
IV.2.3. Réseaux tests IEEE 30- bus système	68
IV.4. Conclusion	72
Conclusion générale	74
Bibliographique	



LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Page

<i>Chapitre I : Ecoulement de puissance optimale dans un réseau électrique</i>		
<i>Figure 1</i>	Modèle d'un générateur	7
<i>Figure 2</i>	Modélisation des lignes et des câbles.	7
<i>Figure 3</i>	une coupe montrant les dimensions des câbles	8
<i>Figure 4</i>	schéma équivalent monophasé d'un transformateur	9
<i>Figure 5</i>	Modèle de la charge	9
<i>Figure 6</i>	Triangle de puissance.	10
<i>Figure 7</i>	Schéma représentatif d'un réseau à deux nœuds	11
<i>Chapitre II : Dispatching économique</i>		
<i>Figure 1</i>	stratégie de fonctionnement des centrales suivant la demande de puissance électrique.	28
<i>Figure 2</i>	Modèle du système électrique utilisé dans le dispatching économique	30
<i>Figure 3</i>	Le coût de carburant en fonction de la puissance générée	31
<i>Figure 4</i>	La courbe de l'accroissement du coût de combustible	31
<i>Figure 5</i>	La méthode graphique de résolution de l'D.E sans pertes	34
<i>Figure 6</i>	L'organigramme de méthode de lagrangien avec pertes	39
<i>Figure 7</i>	L'effet d'ouverture des vannes	40
<i>Figure 8</i>	schéma bloc représente les différentes méthodes d'optimisation	43
<i>Chapitre III : Méthodes D'optimisations Méta-heuristiques</i>		
<i>Figure 1</i>	Classification des méthodes d'optimisation des métas heuristiques	49
<i>Figure 2</i>	Flux d'énergie dans un écosystème ; (A) chaîne alimentaire, (B) réseau alimentaire	51
<i>Figure 3</i>	Une théorie des graphes pour un écosystème basé sur l'AEO	52
<i>Figure 4</i>	Schéma de navigation d'une baleine utilisant un filet à bulles à la recherche de nourriture	57
<i>Chapitre IV : Application et Résultats</i>		
<i>Figure 1</i>	Réseau électrique dans l'ouest de l'Algérie	63
<i>Figure 2</i>	la convergence de Valeur de la fonction de coût d'ouest du réseau algérien durant le processus de l' AEO	65
<i>Figure 3</i>	la convergence la fonction de coût durant le processus de WOA	66

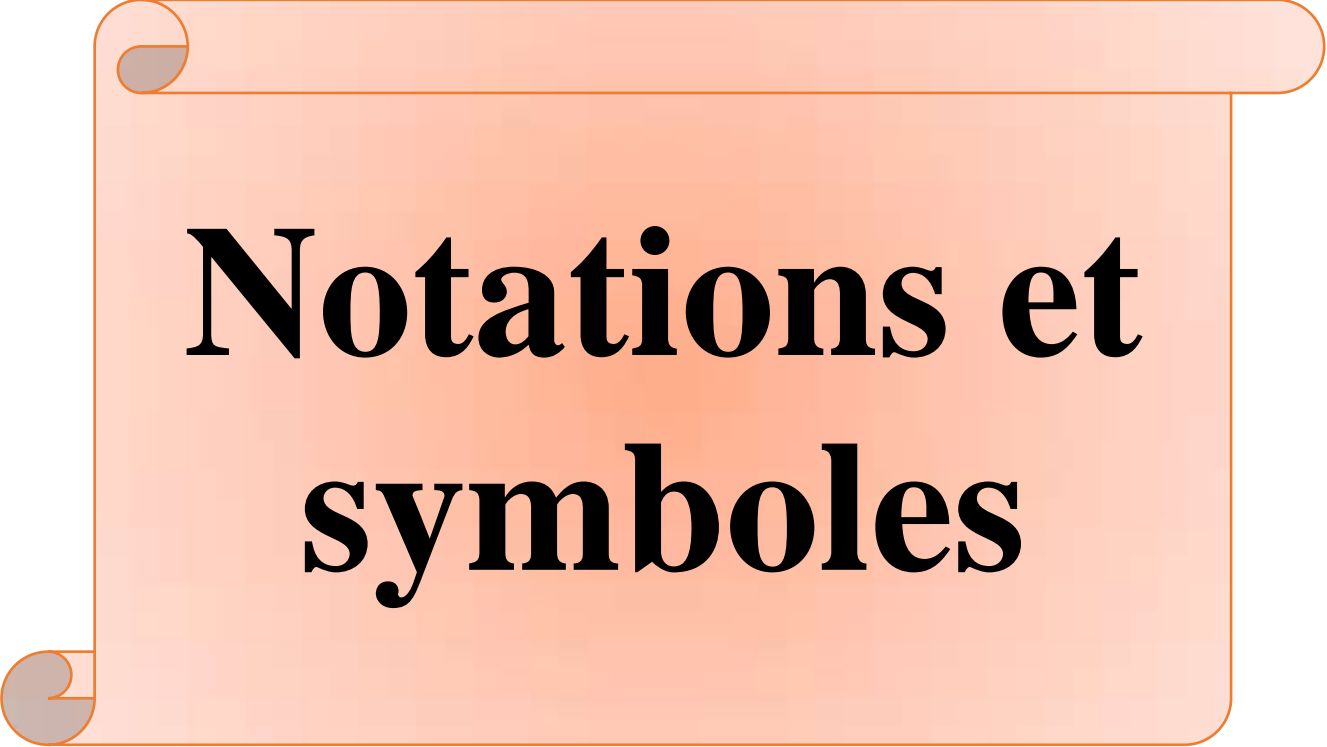
Figure 4	la convergence de l'algorithme AEO	67
Figure 5	la convergence de l'algorithme WOA	67
Figure 6	Résultats sur le deuxième cas	68
Figure 7	Schéma unifilaire du réseau électrique IEEE 30 bus	69
Figure 8	la convergence de l'algorithme AEO	71
Figure 9	la convergence de l'algorithme WOA	71

An orange scroll graphic with a white border and a drop shadow, featuring a rolled-up top edge and a rolled-up bottom-left corner. The text is centered on the scroll.

Liste des Tableaux

LISTE DES TABLEAUX

<i>Chapitre IV : Application et Résultats</i>		
<i>Tableau 1</i>	Données de ligne de transmission en p.u	64
<i>Tableau 2</i>	Valeur d'état en p.u	64
<i>Tableau 3</i>	Comparaison des résultats obtenus des AG du réseau ouest algérien de 1 ^{er} cas	65
<i>Tableau 4</i>	Comparaison des résultats obtenus du réseau ouest algérien de 2 ^{eme} cas	66
<i>Tableau 5</i>	Les données des fonctions de coût des 6 générateurs du réseau 30 bus	69
<i>Tableau 6</i>	Coefficients des pertes de la matrice B	70
<i>Tableau 7</i>	Puissances et coûts de production du réseau électrique à 30 J.B.	70



Notations et symboles

Liste des symboles

P : la puissance active (kW)

Q : la puissance réactive (KVAR)

S : la puissance apparente (KVA)

\bar{S}_i : Puissance apparente produite.

\bar{V}_i : La valeur complexe de la tension de jeu de barre i (V).

P_i : puissance active en un nœud i quelconque du réseau (w)

Q_i : puissance réactive en un nœud i quelconque du réseau (var)

OPF: Optimal power Flow (Ecoulement de Puissance Optimal)

\bar{I}_i : Courant débité

π : modèle la ligne électrique.

P_{Gi} : Puissance active injectée au jeu de barre i

Q_{Gi} : Puissance réactive injectée au jeu de barre i .

P_{Di} : Puissance active demandée au jeu de barre i .

Q_{Di} : Puissance réactive demandée au jeu de barre i .

S_{Gi} : Puissance générée au niveau de jeu de barre i .

S_{Di} : Puissance demandée au niveau de jeu de barre i .

δ_i : Arguments des tensions en rad au niveau de jeu de barre i .

QL : Les pertes de puissance réactive.

PL : Les pertes de puissance active.

IBU : Courant complexe injecté à chaque jeu de barre en A

$VBUS$: Tensions complexes de chaque jeux de barres en Volt [V]

Y : L'admittance shunt par phase en (en Siemens [S])

Y_{ii} : Admittance propre en un nœud i quelconque du réseau (Ω^{-1}).

θ_i : Angle de la tension en un nœud i quelconque du réseau (rads)

θ_j : Angle de la tension en un nœud j quelconque du réseau (rads)

Y_{ij} : Admittance mutuelle entre le nœud i et le nœud j quelconques du réseau (Ω^{-1})

M_i : Fonction Mismatch en un nœud i quelconque du réseau (VA).

\emptyset_{ij} : Angle de l'admittance mutuelle au sommet i et j (rads)

N-R : Newton Raphson.

G-S : Gauss-Seidel

JB : Jeux de barre

AG : Algorithmes génétiques

CEED : Compined Emission Economique Dispatch

An orange scroll graphic with a light orange background and a darker orange border. The scroll is partially unrolled at the top and bottom edges, with the unrolled parts showing a darker orange color. The text is centered on the scroll.

Introduction générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Au cours du dernier demi-siècle et une décennie, l'écoulement de puissance optimal (EPO) a attiré une grande attention en raison de son importance dans le fonctionnement du réseau électrique, est considéré comme un outil important pour une planification efficace et l'amélioration du fonctionnement des réseaux d'alimentation électriques.

L'EPO a été l'un des sujets les plus étudiés dans les réseaux électriques depuis 1962, est un problème de programmation non linéaire qui spécifie les points de contrôle optimaux d'un réseau électrique pour minimiser un objectif souhaité, généralement le coût de production, soumis à un ensemble de certaines contraintes du réseau. De plus il essaye de maximiser le profit de la totalité des consommateurs de l'énergie électrique, de minimiser le coût total des puissances actives générées de façon que les pertes de puissances actives et réactives sont acceptables et les contraintes sur les transits des puissances dans les lignes de transport sont satisfaites et de contrôler les puissances actives sortantes des générateurs ainsi que leurs niveaux de tension.

L'apparition des "méta-heuristiques" remonte aux années quatre-vingts. Ces algorithmes stochastiques d'optimisation globale peuvent être appliqués à tout problème, du moment qu'il est formulé sous la forme de l'optimisation de critère(s). Ils progressent vers un optimum par échantillonnage d'une fonction objectif. Ils se prêtent aussi à toutes sortes d'extensions, notamment en optimisation multi-objectif. Les méta-heuristiques sont généralement utilisées comme des méthodes génériques pouvant optimiser une large gamme de problèmes différents, sans nécessiter de changements profonds dans l'algorithme employé. Ils sont souvent employées en optimisation combinatoire, mais on en rencontre également pour des problèmes continus ou mixtes (problèmes à variables discrètes et continues).

D'une manière générale, les méta-heuristiques s'articulent autour de trois notions:

- exploration /diversification
- exploitation/ intensification
- mémoire et apprentissage

L'étude d'un problème d'optimisation dans la situation actuelle des réseaux électriques tenant compte de tous ces critères est très complexe du point de vue modélisation et calcul.

Les seuls moyens de remplir certains critères cités ci-dessus, tels que le maintien des tensions aux niveaux désirés, le contrôle de transit de puissance et de garantir une réserve supplémentaire de puissance active est l'optimiseur de troupes de gorilles, donc la raison pour laquelle beaucoup de problèmes ont été définis selon l'objectif voulu. Parmi ces problèmes, on va traiter dans ce mémoire l'optimisation de l'écoulement de puissance optimal suivant les fonctions objectives suivantes:

- L'optimisation de l'écoulement de puissance avec et sans pollution (émission de gaz toxique).
- Minimisation de coût de production de l'énergie électrique en tenant compte des pertes de puissance actives et les déviations des tensions aux niveaux des jeux de barres.
- Détermination de l'état optimal de chaque générateur interconnecté dans le réseau électrique et calculer la valeur optimale de la puissance générée par chaque générateur.

La contribution principale de ce mémoire est l'introduction des techniques d'optimisation métaheuristiques pour résoudre le problème d'optimisation de l'écoulement de puissance à l'aide d'algorithme des troupes de gorilles artificiels.

Le premier chapitre présentera une vue générale sur le réseau électrique et ces trois majeurs types à savoir, le réseau de transport, de répartition et de distribution de l'énergie électrique. Par la suite, la description et la modélisation des éléments principaux constituant le réseau électrique avec la détermination des équations de l'écoulement de puissance.

Le deuxième chapitre: donne une idée générale sur le dispatching économique, son objectif, mode d'exploitation des unités des générations, le dispatching économique dans les réseaux sans pertes ou avec pertes, et quelques définitions et donne une démonstration intuitive et mathématique du critère à incrémentation égale utilisé dans les réseaux sans pertes, ainsi que la technique du facteur de pénalité et dispatching économique un dispatching environnemental pour des émissions des gaz à effet serre, Le coût du combustible avec l'effet d'ouverture des vannes et dispatching dynamique avec Ranpe .

Les définitions de deux méthodes méta-heuristiques les plus importantes et leurs utilisations et spécialement la méthode d'optimisation par l'algorithme écosystèmes artificiels (AEO), ainsi que l'algorithme de d'optimisation des baleines (WOA) sont introduites dans le troisième chapitre

Le troisième chapitre exposera la méthode réservée pour le résoudre problème du dispatching économique, qui est la méthode des algorithmes génétique .

Le quatrième chapitre pour tester la validité de Cette méthode d'optimisation, une application sera faite sur les réseaux IEEE 14 jeu de barres et IEEE 30 jeu de barres et Ouest Algérien. Les résultats obtenus sont validés .

Le mémoire se terminera par une conclusion générale synthétisant les principaux résultats obtenus et des perspectives.

CHI

**Ecoulement de puissance optimale
dans un réseau électrique**

I.1.Introduction:

Les systèmes d'énergie électrique constituent une des composantes essentielle du développement économique. Leur rôle est de fournir aux utilisateurs le produit électricité au moindre coût dans des conditions de qualité et de sécurité satisfaisantes. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire que tout au long de la chaine conception –réalisation –exploitation, les ingénieurs disposent des moyens leur permettant de comprendre, d'analyser et de reproduire le comportement des systèmes d'énergie électrique [2].

L'analyse de tous phénomènes sur les réseaux électriques nécessite une bonne connaissance de la topologie du réseau et des caractéristiques de ses composants élémentaires avec leurs modélisations et la détermination des équations de fonctionnement du réseau [3].

Nous consacrons donc ce chapitre à un bref rappel sur les réseaux électriques ainsi que les équations d'écoulement de puissance.

I.2.Définition du réseau électrique

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures énergétiques permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité. Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques permettant de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs. Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production transport consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble [4].

Dans un système électrique, il y a trois types de réseau ; le réseau de transport, le réseau de répartition et le réseau de distribution.

I.2.1.Réseau de transport

Il est constitué des lignes et des postes de transformation issus des centrales et a pour rôle de transporter l'énergie électrique des centrales de production vers les gros centres de consommation, d'alimenter les grandes et les petites industries et de servir pour les interconnexions avec les voisins [4].

I.2.2.Réseau de répartition

Il comprend les lignes de transport et les postes de transformation intermédiaires entre le réseau de transport et le réseau de distribution, permet de répartir la puissance avec les

postes de distribution. Il s'agit du réseau de niveaux de tension inférieurs à 220 KV, essentiellement 60 KV pour les réseaux de SONELGAZ [4].

I.2.3.Réseau de distribution

Il est constitué des lignes et des postes de transformation qui servent à l'alimentation des ménages, l'éclairage public, la moyenne et la petite entreprise. Ce réseau comprend un réseau à moyenne tension et un réseau à basse tension [4].

I.3.Description et modélisation des éléments d'un réseau électrique

I.3.1.Description des éléments d'un réseau électrique

Les principaux éléments constituant un réseau électrique sont:

- Les groupes de production.
- Les liaisons.
- Les charges.
- Les jeux de barres.
- Les éléments shunts.

I.3.1.1.Les groupe de production

Les groupes de production produisent de la puissance électrique à partir d'une énergie primaire, d'origine:

- Thermique (gaz, charbon....).
- Hydraulique (eau).
- Nucléaire (uranium).
- Renouvelable (solaire, éolienne,.....).

Ils délivrent à chaque instant une puissance électrique constituée d'une partie active et d'une partie réactive [6], [7]

I.3.1.2.Les liaisons

Les liaisons du réseau sont les lignes électriques et les postes de transformation qui jouent le rôle de lien entre la production et la consommation.

Les lignes sont des conducteurs qui relient deux sommets portés au même niveau de tension. Elles assurent la fonction « transport de l'énergie » sur le réseau.

Les transformateurs relient les nœuds portés à des niveaux de tension différents.

Parfois ces transformateurs sont équipés de régulateurs en charge dont le rôle est de modifier la tension. Le principe du régulateur en charge est simple : il s'agit de réaliser un transformateur dont le rapport de transformation ne soit pas fixe mais qui puisse évoluer dans une certaine plage pour suivre les variations de la tension primaire et atténuer les effets sur la tension secondaire en changeant la prise de connexion de l'enroulement secondaire [6].

I.3.1.3 Les charges

Les charges sont des récepteurs d'énergie électrique, elles ont une partie active et une partie réactive et constituent ce qui est appelé communément consommation [6].

I.3.1.4 Les jeux de barres

Le terme officiel est barre omnibus, mais il n'est guère employé. Selon la définition donnée par la commission électrotechnique internationale, il s'agit d'un conducteur de faible impédance auquel peuvent être reliés plusieurs circuits électriques en des points séparés [9].

I.3.1.5 Les éléments shunts

Dans la plupart des cas, les éléments shunts sont des dispositifs destinés à la compensation de l'énergie réactive et la tenue de la tension, à savoir : batteries de condensateurs et inductances fixes, compensateurs synchrones ou compensateurs statiques (SVC). Chaque élément connecté au réseau sera modélisé par une admittance équivalente ou une injection de puissance [10].

I.3.2 Modélisation des éléments d'un réseau électrique

Un réseau de transport ou de distribution électrique contient un ensemble de composants qu'on doit modéliser afin d'établir les équations qui gouvernent le système électrique. Dans les sections qui suivent, on va exposer quelques modèles algébriques de base relatifs aux composants du réseau qui sont nécessaires pour le calcul de l'écoulement de puissance [2].

I.3.2.1 Les générateurs

Dans l'analyse de l'écoulement de puissance, les générateurs sont modélisés comme des injecteurs de courants. Dans l'état stationnaire, un générateur est généralement contrôlé de sorte que la puissance active injectée aux jeux de barres et la tension aux bornes de générateurs soient maintenues constantes. La puissance active délivrée par le générateur est

réglée à travers le contrôle de la turbine, qui doit être dans les limites de la capacité du système turbine générateur.

La tension est liée principalement à l'injection de la puissance réactive au jeu de barres de production, qui est contrôlée par le courant de l'excitation, et comme le générateur doit fonctionner dans les limites de sa courbe de capacité réactive $Q(P)$, il n'est pas possible de régler la tension en dehors de certaines limites admissibles [1].

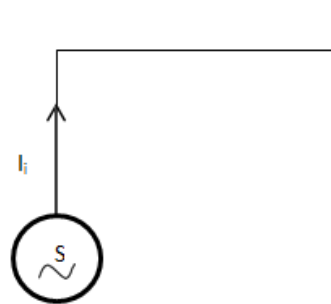


Figure I.1: Modèle d'un générateur

$$\bar{S}_i = \bar{V}_i \bar{I}_i^* = P_i + jQ_i \quad (\text{I.1})$$

\bar{S}_i : Puissance apparente produite.

\bar{V}_i : Tension simple aux bornes de la source.

\bar{I}_i : Courant débité

I.3.2.2 Les lignes

Une ligne électrique est constituée par un faisceau de conducteurs cylindriques aériens ou souterrains parallèles entre eux et au sol. Chaque conducteur est caractérisé par :

Sa résistance linéique 'R' en Ω/m .

Son inductance linéique 'L' en H/m. ($X=L \times \omega$)

Sa capacité linéique 'C' en F/m.

Les lignes électriques et les câbles sont des systèmes à constantes réparties, c'est-à-dire que ces grandeurs physiques sont réparties sur toute la longueur de la ligne.

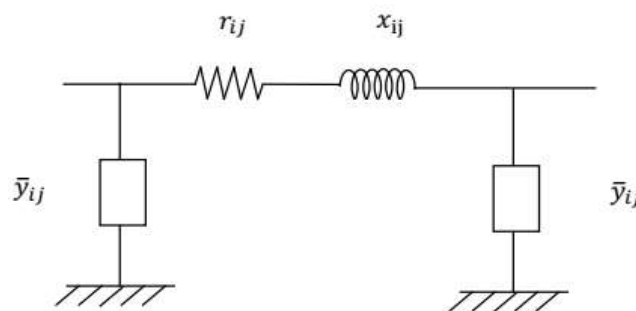


Figure I.2: Modélisation des lignes et des câbles.

Les expressions de R[Ohm], L[H] et C[F] ($X=L \times \omega$)

$$R=\rho/S \quad (I.2)$$

S : la section du câble en mm

ρ : La résistivité du conducteur

$$L_1 = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \left(\frac{1}{r} \right) \right) \quad L_2 = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \left(\frac{1}{r} \right) \right) \quad (I.3)$$

$$M_{12} = \frac{-\mu_0}{2\pi} \left(2 \cdot \ln \left(\frac{1}{d} \right) \right) \quad C = \frac{2\pi \cdot \epsilon_0}{\ln \left(\frac{d}{r} \right)} \quad (I.4)$$

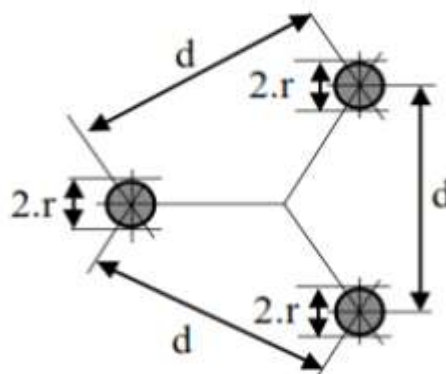


Figure I.3: une coupe montrant les dimensions des câbles

I.3.2.3 Les transformateurs

Un transformateur est bien modélisé, à 50 Hz, par un schéma équivalent monophasé faisant intervenir un transformateur idéal, des éléments en série (les résistances des enroulements primaire et secondaire et les inductances de fuites) et des éléments en parallèle (l'inductance de magnétisation et éventuellement une résistance modélisant les pertes "fer"). Ramené au même niveau de tension (primaire ou secondaire), ce schéma peut se réduire à un simple schéma en T. Ce schéma admet lui-même un équivalent en π .

Il n'est pas rare que soient négligé dans un calcul de répartition les éléments en parallèle du schéma équivalent, dont l'influence est surtout sensible lorsque le réseau est très peu chargé. Dans ce cas, le schéma équivalent du transformateur, ramené au même niveau de tension, se réduit à une simple impédance "série" dont la résistance représente la résistance totale des enroulements primaire et secondaire, et dont l'inductance représente l'inductance de fuite totale entre enroulement primaire et enroulement secondaire.

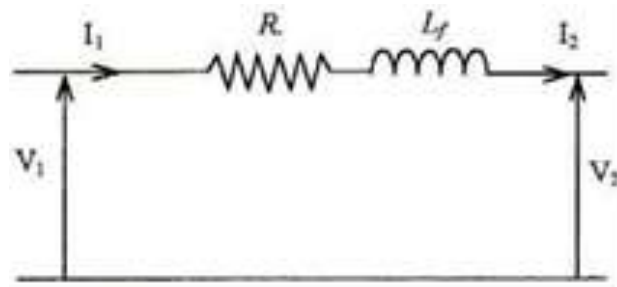


Figure I.4 : schéma équivalent monophasé d'un transformateur

Les paramètres de ce schéma sont ramenés au même niveau de tension. La résistance totale R peut être fournie directement par le constructeur du transformateur ou calculée à partir des pertes en court-circuit. L'inductance de fuite totale L_f peut être calculée à partir de la tension de court-circuit U_{cc} exprimée en %. Pour des transformateurs de très forte puissance (transport), $L \omega \gg R$. [3].

I.3.2.4 Les charge

La connaissance de la nature des consommations est un des problèmes fondamentaux de la représentation des charges. A défaut d'informations précises, en premier approximation, on assimile les charges à des impédances constantes Z raccordées entre les nœuds consommateurs et la terre, déterminées à partir du résultat de répartition initial par [4].

$$Z = \frac{V^2}{P - jQ} \quad (I.5)$$

En général, cette représentation est conservatrice, conduisant à des résultats pessimistes

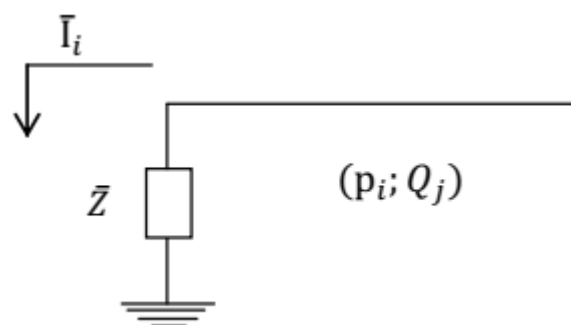


Figure I.5: Modèle de la charge.

I.4.Écoulement de puissance

I.4.1.La puissance

Dans un circuit électrique en courant alternatif, nous distinguons :

- La puissance active « P »
 - La puissance réactive « Q »
 - La puissance apparente « S »
- La puissance active qui produit de la chaleur ou un travail. son unité est le Watt « W ».
 - La puissance réactive permet de magnétiser les circuits électriques, elle n'est associée à aucune dépense d'énergie. son unité le Volte -Ampère-Réactif « VAR ».
 - La puissance apparente est une grandeur dimensionnant l'appareil. Elle donne une indication sur la taille du matériel. Son unité Volt -Ampère « VA » [6].

Les puissances active, réactive et apparente peuvent être représentées par le triangle de puissance de la figure (I.6)

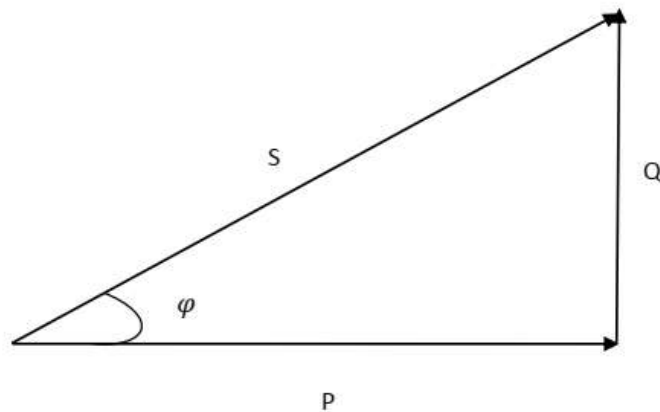


Figure I.6: Triangle de puissance.

- Le facteur de puissance d'un circuit électrique indique le rapport de la puissance active et la puissance apparente.

$$Fp = \cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (I.6)$$

I.4.2.Equation de l'écoulement de puissance

Avant de déterminer les équations de l'écoulement de puissance, il est nécessaire de formuler la matrice des admittances d'un réseau électrique dans le cas général [12].

I.4.2.1.Formulation de la matrice admittance

Soit le schéma suivant:

Si nous considérons le sommet i , nous aurons :

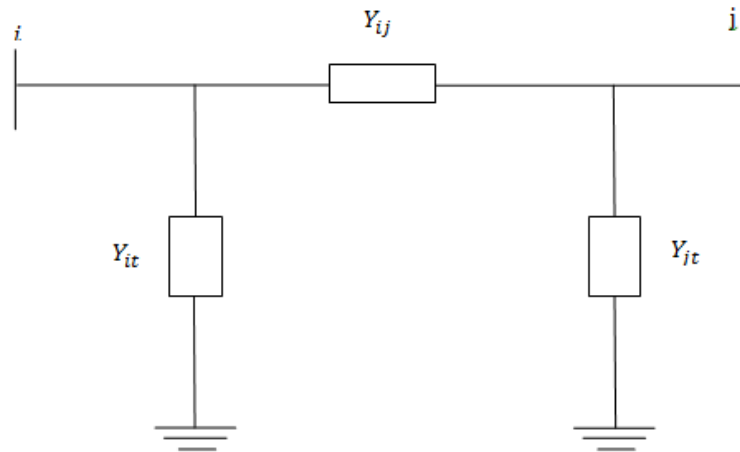


Figure I.7: Schéma représentatif d'un réseau à deux nœuds.

Pour formuler la matrice des admittances, il faut connaître l'admittance propre en chaque nœud du réseau et l'admittance mutuelle entre deux nœuds du même réseau.

L'admittance propre en un nœud i quelconque d'un réseau électrique est égale à la somme des admittances des lignes reliées au nœud i plus celle le reliant à la terre.

L'expression de l'admittance propre est donnée par :

$$Y_{ii} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N Y_{ij} + Y_{it} \quad (\text{I.7})$$

L'admittance mutuelle entre un nœud i et un nœud j est égale à l'admittance de la ligne reliant le nœud i au nœud j précédée du signe $(-)$

L'expression de l'admittance mutuelle est donnée par:

$$Y_{ij} = -Y_{ji} \quad (\text{I.8})$$

La présence d'un transformateur entre deux nœuds modifie les expressions (I.7) et (I.8)

- Pour l'admittance propre Y_{ii} , nous utilisons Y_t ou Y_t/a^2 selon la position du transformateur, par rapport au nœud considéré.
- Pour l'admittance mutuelle Y_{ij} , nous utilisons Y_t/a^2 quelque soit la position du transformateur par rapport au nœud traité.

La matrice $[Y]$ s'écrit :

$$Y = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1N} \\ Y_{21} & Y_{22} & & Y_{2N} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ Y_{N1} & Y_{N2} & \cdots & Y_{NN} \end{bmatrix} \quad (\text{I.9})$$

I.4.2.2. Equation d'un réseau électrique

Les équations d'un réseau électrique sont données par la relation entre les courants et les tensions, cette relation est donnée sous forme matricielle comme suit :

$$[Y][V] = [I] \quad (\text{I.10})$$

L'écriture détaillée est donnée comme suit :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1N} \\ Y_{21} & Y_{22} & & Y_{2N} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ Y_{N1} & Y_{N2} & \cdots & Y_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_N \end{bmatrix} \quad (\text{I.11})$$

I.5. Écoulement de puissance optimale

L'optimisation de l'écoulement de puissance consiste à répartir les puissances actives et réactives demandées entre les différentes centrales interconnectées dans un réseau électrique avec un coût minimal. Cette distribution doit évidemment respecter les des variables tels que : les limites de production des centrales et les capacités des lignes de transport, les transformateurs changeurs de prises et les batteries de condensateurs. La fonction à optimiser est donc le coût total de production.

I.5.1 Objectif de l'écoulement de puissance optimal

L'objectif principal (EPO) est de trouver un point de fonctionnement en régime permanent qui minimise le coût total de production, les pertes de puissance dans le réseau électrique, ou maximise le bien-être social ou l'utilisation du système. Tout en maintenant les meilleures performances de réseau en termes des limites maximales des puissances actives et réactives des générateurs, limite thermique des lignes, et la puissance maximale de divers dispositifs de compensation, etc. Prenons comme exemple la répartition optimale de la puissance active, l'objectif est de minimiser le coût total de génération ou les pertes de puissance pendant que le réseau fonctionne dans ses limites de sécurité.

Après le calcul, EPO donne la puissance active optimale générée et achetée à chaque jeu de barre et les prix nodaux qui sont une conception importante sur le marché de l'électricité.

Les prix nodaux présentent un intérêt spécifique car ils reflètent le coût marginal de livraison d'une unité supplémentaire à chaque jeu de barre (nœud). Ces prix sont également appelés prix de localisation et se révèlent être les prix optimaux, maximisant le bien-être social et tenant compte des contraintes de transmission. Dans un réseau non encombré, tous les prix de localisation sont égaux, alors qu'en cas de congestion, une différence de prix de localisation se produit. Ils peuvent fournir les bonnes incitations aux acteurs du marché et à la société. L'EPO font partie des outils présents dans de nombreux systèmes de gestion de l'énergie (SGE) et leurs L'utilité est de plus en plus reconnue par les services publics d'électricité en raison de la présence accrue de producteurs d'électricité indépendants combinée à la déréglementation de l'industrie électrique. L'EPO traditionnel n'avait pas de signification technico-économique aussi riche que la nouvelle forme d'EPO explicitement. Les résultats de la recherche de l'EPO dans le contexte du marché déréglementé de l'électricité peuvent être étendus à de nombreux domaines de recherche : tarification localisée en temps réel, gestion de la congestion du réseau électrique, estimation de la capacité de transfert disponible, calcul des frais de transport d'électricité. Visant divers domaines d'application, les implémentations d'EPO diffèrent en termes de formulation du modèle, le niveau de détail dans la représentation du système et les aspects informatiques / algorithmiques de la méthodologie de la solution. Différents objectifs nécessitent différents niveaux de détail dans le modèle et dans la représentation de diverses considérations [2].

I.5.2 Définition du problème de l'écoulement de puissance optimal

I.5.2.1 L'écoulement de puissance ordinaire

Le problème ordinaire de l'écoulement de puissance ou de l'écoulement de charge est énoncé en spécifiant les charges en mégawatts et méga vars à fournir à certains jeux de barres d'un réseau de transmission et par les puissances générées et les amplitudes de tension aux jeux de barres de réseau électrique. L'objectif est de déterminer les tensions nodales complexes à partir desquelles toutes les autres grandeurs telles que les puissances transitées de ligne, les courants et les pertes peuvent être dérivées. Le modèle du réseau de transmission est donné en quantités complexes puisqu'un réseau à courant alternatif est supposé générer et fournir les puissances et les charges.

En termes mathématiques, le problème peut être réduit à un ensemble d'équations non linéaires où les composantes réelles et imaginaires des tensions nodales sont les variables. Le

nombre d'équations est égal à deux fois le nombre de jeux de barres. Les non-linéarités peuvent être grossièrement classées comme étant de nature quadratique.

Le résultat d'un problème de l'écoulement de puissance informe l'opérateur ou un planificateur d'un réseau selon lequel les lignes du réseau sont chargées, quelles sont les tensions aux différents jeux de barres, quelle quantité de puissance générée est perdue et où les limites sont dépassées.

I.5.2.2. L'écoulement de puissance optimal

Pour le planificateur et l'opérateur, la génération fixe correspond à un instantané uniquement. Les exigences de planification et d'exploitation demandent très souvent un ajustement des puissances générées selon certains critères. L'un des plus évidents est le minimum du coût de production.

L'application d'un tel critère suppose immédiatement des puissances d'entrée et des tensions de jeu de barre variable qui doivent être déterminées de manière à atteindre un coût minimum de génération de ces puissances.

À ce point, il n'y a pas que les tensions aux jeux de barres où les charges sont fournies mais aussi les puissances d'entrée ainsi que les tensions correspondantes aux jeux de barres du générateur qui doivent être déterminées. Le degré de liberté pour le choix des intrants semble être excessivement grand, mais en raison de la présence d'un objectif, à savoir atteindre le minimum du coût de production, le problème est bien défini. Bien sûr, les mathématiques deviennent plus exigeantes par rapport au problème de l'écoulement de puissance d'origine, cependant, le but étant toujours le même, c'est-à-dire la détermination des tensions nodales dans le réseau. Ils jouent le rôle de variables d'état à partir desquelles toutes les autres grandeurs peuvent être dérivées.

a. Relation tension nodale-courant nodale

La relation entre les tensions nodales complexes \underline{V} et les courants nodaux complexes \underline{I} du réseau de transport, composé des composants passifs, des lignes de transmission, des éléments série, des transformateurs et des shunts est :

$$\underline{I} = \underline{Y} \cdot \underline{V} \quad (\text{I.12})$$

Tout courant nodal complexe \underline{I}_i peut-être formulé en coordonnées rectangulaires :

$$\underline{I}_i = I_{ei} + j \cdot I_{fi} \quad ; \quad i = 1 \dots N \quad (\text{I.13})$$

Ou, N : représente le nombre de jeux de barres électriques

Pour toute tension nodale complexe \underline{V}_i , ce qui suit est valable en coordonnées rectangulaires pour la tension nodale complexe :

$$\underline{V}_i = V_{ei} + j \cdot I_{fi} \quad ; \quad i = 1 \dots N \quad (\text{I.14})$$

Notez que généralement à un jeu de barre, l'angle de la tension complexe est maintenu constant. Ainsi, la relation suivante doit être valide pour ces jeux de barres unique, appelé jeux de barres molle :

$$\frac{f_{Jbr}}{e_{Jbr}} = k_{Jbr} = \text{constant} \quad (\text{I.15})$$

Notez que très souvent, cette valeur constante K_{Jbr} est supposée être nulle, c'est-à-dire que l'angle de tension à ce jeu de barre est supposé être nul. Cependant, dans ce chapitre le cas général de (1.15) est supposé valide. Les éléments complexes de la ligne i et de la colonne j de la matrice \underline{Y} sont les suivants :

$$\underline{Y}_{ij} = g_{ij} + j \cdot b_{ij} \quad (\text{I.16})$$

Ou sous forme polaire :

$$\underline{Y}_{ij} = y_{ij} \cdot (\cos \theta_{ij} + j \sin \theta_{ij}) \quad (\text{I.17})$$

Il découle de (I.12), (I.13) et (I.16)

$$I_{ei} = \sum_{j=1}^N (e_i g_{ij} - f_j b_{ij}) \quad ; \quad i = 1 \dots N \quad (\text{I.18})$$

$$I_{fi} = \sum_{j=1}^N (e_i b_{ij} - f_j g_{ij}) \quad ; \quad i = 1 \dots N \quad (\text{I.19})$$

En coordonnées polaires, les tensions complexes \underline{V}_i sont définies comme suit :

$$\underline{V}_i = |V|_i \cdot (\cos \theta_{ij} + j \sin \theta_{ij}) \quad ; \quad i = 1 \dots N \quad (\text{I.20})$$

Comme défini dans (1.15), l'angle de tension au niveau du jeu de barre dit molle est maintenu fixe:

$$\theta_{Jbr} = \arctan(k_{Jbr}) = \text{constant} \quad (\text{I.21})$$

Il convient de noter que d'autres composants de réseau tels que les lignes de transmission DC ne sont pas inclus dans ce mémoire. Un fonctionnement en réseau triphasé équilibré est supposé.

b. Relation tension nodale de puissance nodale - courant nodal

Dans ce chapitre, afin de rendre certaines dérivations plus faciles à comprendre, les hypothèses suivantes sont formulées en ce qui concerne la numérotation des jeux de barre:

- Le réseau compte au total N jeu de barres électriques
- Les jeux de barre PQ de charge l sont numérotés $1 \dots l$
- Les m jeu de barre PV du générateur sont numérotés $(l+1) \dots (l+m)$
- $l+m=N$
- Le dernier jeu de barre générateur est appelé le jeu de barre de référence.

Notez que le jeu de barre molle mentionné ci-dessus est généralement traité comme un jeu de barre de générateur PV normal avec la contrainte supplémentaire d'un angle de tension fixe (voir (I.15) et (I.21)). Les puissances active et réactive de tous les l jeux de barres de charge PQ doivent être calculées par la relation suivante :

$$P_i = \text{Réal} \{ \underline{V}_i \cdot \underline{I}_i^* \} ; i = 1 \dots l \quad (\text{I.22})$$

$$Q_i = \text{Imag} \{ \underline{V}_i \cdot \underline{I}_i^* \} ; i = 1 \dots l \quad (\text{I.23})$$

(I.22), (I.23) formulés en coordonnées rectangulaires : Pour tous les l jeux de barres PQ:

$$P_i = e_i I_{ei} + f_i I_{fi} ; i = 1 \dots l \quad (\text{I.24})$$

$$Q_i = f_i I_{fi} - e_i I_{ei} ; i = 1 \dots l \quad (\text{I.25})$$

Pour tous les m jeux de barre PV :

$$P_i = e_i I_{ei} + f_i I_{fi} ; i = 1 \dots N \quad (\text{I.26})$$

$$|V|_i^2 = e_i^2 + f_i^2 ; i = 1 \dots N \quad (\text{I.27})$$

L'insertion (I.18) et (I.19) dans (I.24) et (I.25) donne :

$$P_i = \sum_{j=1}^N (e_i (e_i g_{ij} - f_j b_{ij}) + f_j (f_j b_{ij} + e_i g_{ij})) ; i = 1 \dots l \quad (\text{I.28})$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^N (f_j(e_i g_{ij} - f_j b_{ij}) - e_i(f_j b_{ij} + e_i g_{ij})) \quad ; \quad i = 1 \dots l \quad (I.29)$$

Pour les jeux de barre PV du générateur, la puissance active P et l'amplitude de la tension sont calculées comme suit :

$$P_i = \sum_{j=1}^N (e_i(e_i g_{ij} - f_j b_{ij}) + f_j(f_j b_{ij} + e_i g_{ij})) \quad ; \quad i = l + 1 \dots N \quad (I.30)$$

$$|V|_i^2 = e_i^2 + f_i^2 \quad ; \quad i = l + 1 \dots N \quad (I.31)$$

(I.22),(I.23) formulés en coordonnées polaires:

Pour tous les jeux de barre PQ :

$$P_i = \sum_{j=1}^N (V_i V_j y_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j - \theta_{ij})) \quad ; \quad i = 1 \dots l \quad (I.32)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^N (V_i V_j y_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j - \theta_{ij})) \quad ; \quad i = 1 \dots l \quad (I.33)$$

Pour tous les m jeux de barre PV :

$$P_i = \sum_{j=1}^N (V_i V_j y_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j - \theta_{ij})) \quad ; \quad i = l + 1 \dots N \quad (I.34)$$

$$|V|_i = V_i \quad ; \quad i = l + 1 \dots N \quad (I.35)$$

Notez que (I.35) est trivial et en principe pas nécessaire. Les équations de (I.35) sont omises dans les dérivations suivantes lors de l'utilisation du système de coordonnées polaires.

I.5.2.3 Limites opérationnelles

Dans le réseau électrique réel, de nombreuses variables utilisées dans les équations ci-dessus sont limitées et ne peuvent être dépassées sans endommager l'équipement ou amener le réseau dans des états de fonctionnement instables et non sécurisés:

- Limites de la puissance active d'un jeu de barre PV (générateur):

$$P_{mini} \leq P_{PVi} \leq P_{maxi} \quad (I.36)$$

- Limites de tension d'un jeu de barre PV ou PQ:

$$|V|_{mini} \leq |V|_i \leq |V|_{maxi} \quad (I.37)$$

- Limites des positions de prise d'un transformateur:

$$T_{mini} \leq T_i \leq T_{maxi} \quad (I.37)$$

- Limite des angles de déphasage d'un transformateur:

$$\theta_{mini} \leq \theta_i \leq \theta_{maxi} \quad (I.38)$$

- Limites des capacités ou réactances shunt:

$$S_{mini} \leq S_i \leq S_{maxi} \quad (I.39)$$

- Limites de la production de puissance réactive d'un jeu de barre photovoltaïque:

$$Q_{mini} \leq Q_{PVi} \leq Q_{maxi} \quad (I.40)$$

En réalité, les limites réactives d'un générateur sont complexes et dépendent généralement de l'état.(I.40) est une simplification des limites, cependant, en adaptant les valeurs limites réelles pendant l'optimisation, les limites du monde réel peuvent être simulées avec une précision suffisante.

- Limites supérieures du l'écoulement de puissance active dans les lignes de transport ou les transformateurs:

$$P_{ij} \leq P_{maxij} \quad (I.41)$$

- Limites supérieures des flux MVA dans les lignes de transport ou les transformateurs:

$$P_{ij}^2 + Q_{ij}^2 \leq S_{maxij}^2 \quad (I.42)$$

- Limites supérieures des amplitudes de courant dans les lignes de transmission ou les transformateurs:

$$|I|_{ij} \leq |I|_{maxij} \quad (I.43)$$

- Limite des angles de tension entre les jeux de barre:

$$\theta_{minij} \leq \theta_i - \theta_j \leq \theta_{maxij} \quad (I.44)$$

- Limites dès l'écoulement total entre zones :

Ces contraintes d'inégalité peuvent être formulées pour les valeurs MVA et MW comme suit :

- Limites de l'écoulement de puissance active de zone MW

$$P_{minareaa} \leq \sum_{a \rightarrow b} (P_{ab}^2 - Q_{ab}^2) \leq P_{maxareaa} \quad (I.45)$$

➤ Limites dès l'écoulement de puissance de la zone MVA

$$S^2_{min\text{area}_a} \leq \sum_{a \rightarrow b} (P_{ab}^2 - Q_{ab}^2) \leq S^2_{max\text{area}_a} \quad (\text{I.46})$$

I.5.3 Formulation des contraintes EPO

Le problème d'EPO est considéré comme problème de minimisation non-linéaire avec contraintes. Il peut être écrit sous la forme suivante:

$$\text{Minimisez } f(x, u) \quad (\text{I.47})$$

$$\text{Sujet à : } g(x, u) = 0 \quad (\text{I.48})$$

$$h(x, u) \leq 0 \quad (\text{I.49})$$

Tels que:

$f(x, u)$: Fonction objective

$g(x, u) = 0$: Contraintes d'égalités

$h(x, u) \leq 0$: Contraintes d'inégalités

x : vecteur des variables d'état

u : vecteur des variables à contrôler ;

I.5.3.1 Contraintes d'égalité

Les contraintes d'égalité de l'EPO reflètent à des lois physiques gouvernant le réseau électrique.

Elles sont représentées par les équations non-linéaires de l'écoulement de puissance qui exigent que la somme de l'injection nette des puissances actives et réactives dans chaque jeu de barres soit nulle[10][11].

$$\Delta P_i = 0 = V_i \sum_{k=1}^N [V_k [G_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k) + B_{ki} \sin(\theta_i - \theta_k)]] - P_{Gi} + P_{Di} \quad (\text{I.50})$$

$$\Delta Q_i = 0 = V_i \sum_{k=1}^N [V_k [G_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k) + B_{ki} \cos(\theta_i - \theta_k)]] - Q_{Gi} + Q_{Di} \quad (\text{I.51})$$

I.5.3.2 Contraintes d'inégalité

Les contraintes d'inégalités habituelles peuvent inclure les limites sur les dispositifs physiques dans le réseau électrique tels que, les générateurs, les transformateurs à prises de charge, et les transformateurs déphaseurs, ainsi que les limites créées pour assurer la sécurité

de réseau, en plus d'autres contraintes d'inégalités comme les limites des puissances réactives de compensations. Les limites sur les générateurs concernent les limites des puissances actives et réactives qui doivent être maintenues dans les limites admissibles:

$$P_{Gi}^{min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{max} \quad (I.52)$$

$$Q_{Gi}^{min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{max} \quad (I.53)$$

Les transformateurs à prises de charge ont des commutateurs max et min, du niveau de tension par rapport à la tension nominale pour le réglage des modules de tensions et la régulation des flux de puissances réactives. De même, les transformateurs à angles de phase ont des décalages max. et min.

pour le réglage des phases de tensions et la régulation des flux de puissances actives. Les deux types de transformateurs forment les contraintes d'inégalités suivantes:

$$T_{ik}^{min} \leq T_{ik} \leq T_{ik}^{max} \quad (I.54)$$

$$\alpha_{ik}^{min} \leq \alpha_{ik} \leq \alpha_{ik}^{max} \quad (I.55)$$

Les batteries, les bobines et les compensateurs statiques de la puissance réactive sont cernés par des valeurs minimales et maximales comme suit:

$$Q_{Ci}^{min} \leq Q_{Ci} \leq Q_{Ci}^{max} \quad (I.56)$$

Les limites sur le transit de puissance apparente au niveau des lignes de transport et des transformateurs de puissance sont créées pour assurer la sécurité de réseau contre les pertes thermiques dans les conducteurs, et/ou la stabilité du réseau:

$$|S_{ik}|^2 \leq |S_{ik}^{max}|^2 \quad (I.57)$$

Pour garder la qualité de service électrique et la sécurité du système, il faut limiter les violations sur les contraintes de tension qui doivent être dans leurs limites admissibles.[12]

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max} \quad (I.58)$$

I.5.3.3 Fonctions objectives

Généralement l'objectif le plus utilisé dans la formulation du problème d'EPO est la minimisation de coût total de puissance active générée par des unités de production d'énergie réelle. Les coûts individuels de chaque unité de production sont supposés être fonction, uniquement de la production d'énergie active et sont représentés par des courbes quadratiques

de second ordre. La fonction objective totale du réseau électrique peut alors être écrite comme la somme du modèle quadratique de coût de chaque générateur[13].

Minimiser

$$F = \sum_{i=1}^{NG} f_i = \sum_{i=1}^{NG} a_i P^2 + b_i P_i + c_i \quad (\$/h) \quad (I.59)$$

Où

$$P_{Gi_{min}} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi_{max}}$$

$$P_{Di} = P_{Gi} + P_{Li}$$

Tels que a_i, b_i, c_i représentent les coefficients de coût de la $i^{\text{ème}}$ unité de production P_{Di}, P_{Li} sont respectivement la puissance demandée et les pertes actives de transport

I.5.4 Classification des variables de l'écoulement de puissance

Le processus de résolution du problème de L'EPO est plus facile à comprendre si les variables sont classées en plusieurs catégories. Ils sont illustrés ci-dessous.

- ❖ **Variables de demande** : elles incluent les variables représentant des valeurs constantes. Ils sont représentés par le vecteur P. Variables de demande typiques:
 - Puissance active et réactive aux jeux de barre de charge.
- ❖ **Variables de contrôle** : Toutes les grandeurs du monde réel qui peuvent être modifiées pour satisfaire l'équilibre de génération de charge en tenant compte des limites du système opérationnel (voir la sous - section précédente). Puisque, en particulier lors de l'utilisation du système de coordonnées rectangulaires, toutes ces grandeurs ne peuvent pas être modélisées directement, elles doivent être transformées en variables ayant une signification purement mathématique. Après le calcul, ces variables peuvent cependant être reconverties en quantités du monde réel. Les variables de contrôle sont représentées par le vecteur U.

Un ensemble typique de variables de contrôle d'un problème EPO peut inclure:

- **Coordonnées rectangulaires:**
 - Puissance active d'un jeu de barre PV
 - Production d'énergie réactive à un nœud photovoltaïque (parfois utilisée)
 - Position de prise d'un transformateur
 - Shunt capacitance ou réactance

- Partie réelle de la position de prise complexe (uniquement si le transformateur a les prises et le déphasage, sinon le robinet est un nombre réel et donc généralement une variable de contrôle)
 - Partie imaginaire d'une position de prise complexe (voir remarque ci-dessus) (Cet élément et l'élément précédent sont reconvertis au réel quantité mondiale prise et déphasage du transformateur après le calcul EPO).
- **Coordonnées polaires :**
- Puissance active d'un jeu de barre PV
 - Amplitude de tension d'un jeu de barre PV
 - Position de prise d'un transformateur
 - Angle de déphasage d'un transformateur de déphasage
 - Shunt capacitance ou réactance
- ❖ **Variables d'état :** cet ensemble comprend toutes les variables qui peuvent décrire tout état unique du système d'alimentation. Les variables d'état sont représentées par le vecteur X.
- Exemples de variables d'état:
- **Coordonnées rectangulaires:**
- Partie réelle de la tension complexe à tous les jeux de barre
 - Partie imaginaire d'une tension complexe à tous les jeux de barre (Cet élément et l'élément précédent sont reconvertis dans les grandeurs et l'angle de tension du monde réel après le calcul EPO).
- **Coordonnées polaires:**
- Amplitude de tension à tous les jeux de barre
 - Angle de tension à tous les jeux de barre
- ❖ **Variables de sortie :** toutes les autres variables ; elles doivent être exprimées comme des fonctions (non linéaires) des variables de contrôle et d'état.
- Exemples:
- **Coordonnées rectangulaires:**
- Amplitude de tension aux jeux de barre PQ et PV
 - Angle de tension au niveau du jeu de barre PQ et PV
 - Amplitude de prise du transformateur de déphasage
 - Angle de prise du transformateur de déphasage

- L'écoulement de puissance (MVA, MW, MVAR, A) dans la ligne de i à j
- Génération réactive au jeu de barre PV

➤ **Coordonnées polaires :**

- L'écoulement de puissance (MVA, MW, MVAR, A) dans la ligne de i à j
- Génération réactive au jeu de barre PV

La plupart des variables sont continues, mais certaines, comme la prise du transformateur ou l'état des shunts, sont discrètes. Dans ce mémoire, toutes les variables sont supposées être continues. On suppose que les variables discrètes sont définies à leur valeur discrète la plus proche une fois l'optimisation effectuée. Cela ne garantit pas l'optimalité, cependant, les résultats ont montré que cette approche conduit à des résultats pratiquement acceptables[14].

I.5.5 Méthodes classiques appliquées au problème de l'écoulement de puissance optimal

Six méthodes de techniques d'optimisations classiques pour résoudre le problème d'OPF sont classifiées par ordre d'introduction[15]:

- La méthode de Newton
- La programmation linéaire
- La programmation quadratique
- La programmation non linéaire
- La méthode hybride de programmation linéaire et programmation intégrale
- La méthode de point intérieur.

I.5.6 Résumé sur la formulation de l'EPO

Le résumé de l'écoulement de puissance optimal s'écrit sous la forme suivante:[16]

$$\text{Minimiser} \quad F(x) = \sum_{\text{générateur}} a_i P^2 + b_i P_i + c_i + \sum_{\text{pénalité}} \mu_i \quad (\text{I.60})$$

$$\text{Contraintes d'égalité :} \quad \left. \begin{array}{l} \Delta P_i = \\ \Delta Q_i = \end{array} \right\} \Rightarrow g(x) = 0 \quad (\text{I.61})$$

$$\text{Contraintes d'inégalités : } \left. \begin{array}{l} P_{Gi} - P_{Gi}^{max} \leq 0 \\ P_{Gi}^{min} - P_{Gi} \leq 0 \\ Q_{Gi} - Q_{Gi}^{max} \leq 0 \\ Q_{Gi}^{min} - Q_{Gi} \leq 0 \\ V_{Gi} - V_{Gi}^{max} \leq 0 \\ V_{Gi}^{min} - V_{Gi} \leq 0 \\ [S_{ik}]^2 \leq [S_{ik}^{max}]^2 \\ t_{ik} - t_{ik}^{max} \leq 0 \\ t_{ik}^{min} - t_{ik} \leq 0 \\ \theta_{ik} - \theta_{ik}^{max} \leq 0 \\ \theta_{ik}^{min} - \theta_{ik} \leq 0 \end{array} \right\} \Rightarrow h_k(x) \leq 0 \quad (\text{I.62})$$

$$\text{Fonctions de pénalités: } \left. \begin{array}{l} \mu_s([S_{ik}]^2 \leq [S_{ik}^{max}]^2)^2 \\ \mu_v(V_i^{min} - V_i) \\ \mu_v(V_i - V_i^{max}) \\ \mu_p(P_i^{min} - P_i) \\ \mu_p(P_i - P_i^{max}) \end{array} \right\} \quad (\text{I.63})$$

La fonction objective augmentée du problème de l'EPO est donnée par :

$$L = F(x) + \mu_P * h(P_{G1}) + \mu_Q * h(Q_G) + \mu_V \sum_{i=1}^{NL} h(V_{li}) + \mu_S \sum_{i=1}^{NB} h(S_{li}) \quad (\text{I.64})$$

$$L = F(x) + \mu_P (P_{G1} - P_{G1}^{lim})^2 + \mu_Q (Q_{G1} - Q_{G1}^{lim})^2 + \mu_V \sum_{i=1}^{NL} (V_{li} - V_{li}^{lim}) + \mu_S \sum_{i=1}^{NB} (S_{li} - S_{li}^{lim})^2 \quad (\text{I.65})$$

$$x^{lim} = \begin{cases} (x_i - x_{i\ max})^2 & \text{if } x_i > x_{i\ max} \\ (x_{i\ min} - x_i)^2 & \text{if } x_i < x_{i\ min} \\ 0 & \text{if } x_{i\ min} < x_i < x_{i\ max} \end{cases} \quad (\text{I.64})$$

Les termes représentant les inégalités qui vont être inclus dans le Lagrangien sont seulement ceux qui dépassent leurs limites. [17]

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté une étude liée au problème de l'écoulement de puissance optimal (EPO). Ensuite nous avons décrit les formulations du problème d'EPO, incluant les fonctions objectives communes du réseau électrique, les variables de contrôle et les contraintes d'exploitation.

Au chapitre suivant, on va parler sur dispatching économique par utilisation des méthodes classiques les plus répandues ont été étudiées avec et sans considération de pertes.

An orange scroll graphic with a white background, featuring a dark orange border and two circular tabs on the left side. The text is centered on the scroll.

Ch II:

Dispatching économique

II.1 Introduction

La répartition optimale de puissance a le même sens que le dispatching économique (DE) ou l'optimisation de l'écoulement de puissance. La solution du problème de l'DE revient à résoudre les équations de l'écoulement de puissance en minimisant l'utilisation du combustible des centrales électriques.

Une grande variété de techniques et de méthodes a été appliquée pour résoudre le problème de la répartition optimale de la charge ; depuis que cette problématique est devenue une vraie préoccupation qui nécessite un suivi continu et une actualisation des recherches à fin d'aboutir à des meilleurs résultats.

II.2 Aperçu sur l'architecture des réseaux électriques

Le réseau à très haute tension THT (400 KV, 225KV) d'interconnexion internationale forme un ensemble maillé sur lequel sont les centrales grandes raccordées (centrales nucléaires de 1000 MW, par exemple). Il est complété par le réseau de répartition (60 à 150 KV) souvent exploité en poches reliées au niveau supérieur de tension et sur lequel se raccordent des centrales électriques de moindre puissances, ainsi que les grands utilisateurs industriels. On trouve en suite un réseau de distribution (de 20 KV à 400 V) desservant la clientèle (petites et moyennes entreprises, commerces, secteur résidentiel). Ce réseau de distribution est généralement de structure radiale, éventuellement bouclé dans des zones urbaines pour assurer la continuité de service, voire bouclé même en basse tension dans certaines grandes villes. Le coût d'un réseau bouclé est plus élevé par la complexité du contrôle et de la protection, mais ce type de réseau se caractérise par une meilleure continuité de service.

L'alimentation d'une grande agglomération se fait en général par une boucle à 380 ou 225 KV, alimentée par le réseau d'interconnexion et sur laquelle sont raccordés des postes abaisseurs vers le réseau de répartition, souvent en câble pour la pénétration urbaine. Sur ce réseau de répartition sont branchés des postes abaisseurs vers le réseau de distribution (15 à 20 KV), bouclé et enfin le réseau basse tension de structure radiale alimentant les consommateurs (en triphasé ou en monophasé) [15].

II.3 La stratégie du fonctionnement des centrales électriques

Il existe un nombre infini des formes de fonctionnement pour assure un chargement précis d'un système. On distingue chacune des unités de génération en désignant les puissances spécifiques de chacune d'elles en Mw ou Mvar. La figure (II-1) illustre comment fonctionne à 100% de leurs capacités pendant 24 heures supportent la charge de base.

Des générateur intermédiaires commandés fonctionnent l a plupart du temps mais pas nécessairement sous une charge totale .On procède au couplage des uni tés des pointes à la ligne pendant des heures chaque jour. On a besoin d'une capacité de réserve pour affronter le cas d'urgences.

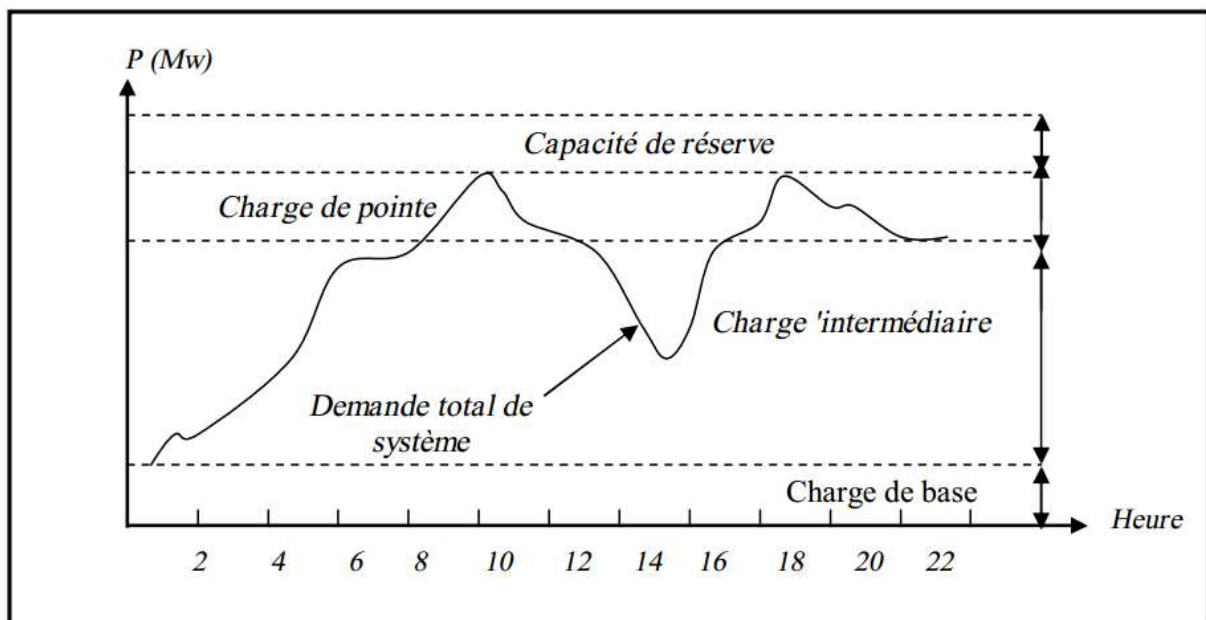


Figure II.1: stratégie de fonctionnement des centrales suivant la demande de puissance électrique.

II.3.1 Unités de charge de base

Les unités nucléaires sont généralement ranges dans cette catégorie à cause du besoin de conservation de l'équilibre thermique entre le réacteur atomique et le générateur de vapeur, il est préférable de stabiliser les puissances actives délivrées pour ce genre d'unités à un niveau constant dans la mesure de possible et faire fonctionner les unités dans des valeurs constantes de puissance[15].

II.3.2 Unités intermédiaires

Quand il faut organiser les puissances actives délivrées, on préfère d'utiliser les unités fonctionnant hydrauliquement, car on peut contrôler l'énergie générée par l'unité hydraulique en jouant sur le débit d'eau entrant dans la turbine.

Les centrales électriques ne sont pas toutes hydrauliques, mais on utilise des centrales thermiques contrôlables. A cause des constant de temps thermiques d'un système à vapeur, il est toujours nécessaire d'organiser ces centrales dans les limites de leurs rendements maximales [15].

II.3.3 Unités de pointes

Les générateurs entraînés par des turbines à gaz peuvent répondre à l'augmentation de la charge avec une grande vitesse, pour cela ils sont utilisés fréquemment pendant les heures de pointes. Mais lorsqu'on dispose des générateurs entraînés hydrauliquement ceux-ci sont préférés en premier lieu [15].

II.3.4 Unité de réserve

La gamme des générateurs demandés peut être constituée de générateurs conservés à la sortie partielle (capacité de réserve) ou des générateurs intermédiaires à des degrés différents de disposition. Le coût d'énergie varie en grande partie en fonction du dollar par (MW heures) entre les différentes unités précédentes. L'unité de pointe est considérée la plus chère, car elle n'est pas exploitée toujours et on peut s'abstenir d'acheter ce type d'unités pour des années en minimisant le pic de demande par le contrôle de la charge. Il est primordial pour n'importe qu'elle entreprise de production d'énergie électrique de conserver les unités mixtes convenables et cela ne soit pas due seulement à la variation de l'énergie demandée par heure, mais il est obligatoire de procéder régulièrement à la maintenance de toutes les centrales électriques.

En ce qui concerne les centrales nucléaires, il faut les alimenter en combustible. La réussite de l'unité productrice d'énergie à gérer les différentes unités dépend essentiellement de sa capacité à réaliser le compromis entre la génération de l'énergie et la demande de la charge non pas pour 24 heures mais pour des années entières [15].

II.4 Dispatching économique

II.4.1 Définition dispatching économique

Le dispatching économique de puissance consiste à répartir la puissance active demandée entre les différentes centrales interconnectées dans un réseau électrique avec un coût minimal. Cette distribution doit évidemment respecter les limites de production des centrales et les capacités de transport des lignes électriques et les transformateurs. La variable à optimiser est donc le coût de production [23].

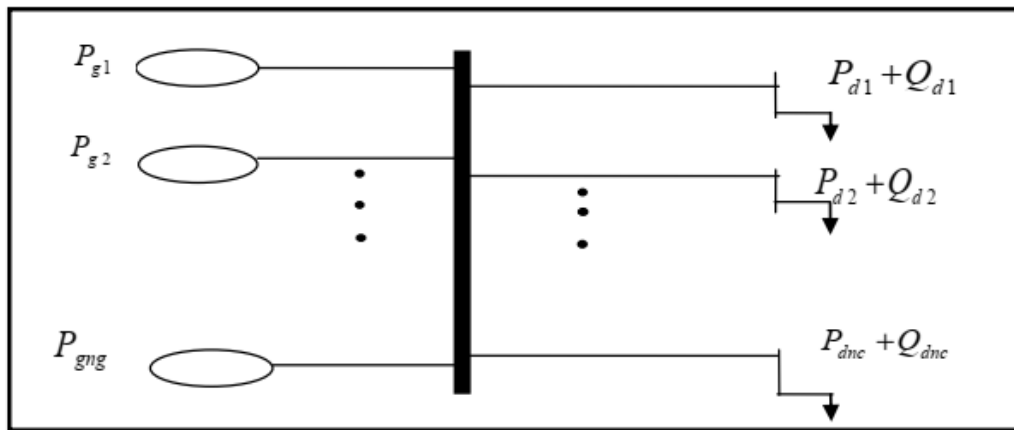


Figure II.2: Modèle du système électrique utilisé dans le dispatching économique.

II.4.2 L'objectif du dispatching économique

L'objectif est de résoudre le problème économique de production de l'énergie électrique, c'est-à-dire de minimiser le coût total du combustible nécessaire pour cette production qui se présente sous forme d'une fonction non linéaire, en tenant compte de certaines contraintes de type égalité et de type inégalité. [22].

II.4.3 La fonction coût et Incrémentation du coût

II.4.3.1 La fonction coût

Le coût de production d'une centrale est généralement modélisé par une fonction polynomiale du second degré en PG (puissance active générée par la centrale) dont les coefficients sont des constantes propres à chaque centrale [17][18].

$$C = \sum_{i=1}^{ng} C_i (p_{gi}) = \sum_{i=1}^{ng} (\alpha_i + \beta P_{gi} + \gamma P_{gi}^2) \text{ (\$/h)} \quad (\text{II.1})$$

Où $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ sont des coefficients constants propres au générateur i . La relation entre le coût de production et la puissance de sortie est appelée « courbe de coût » $C_i(p_{gi})$

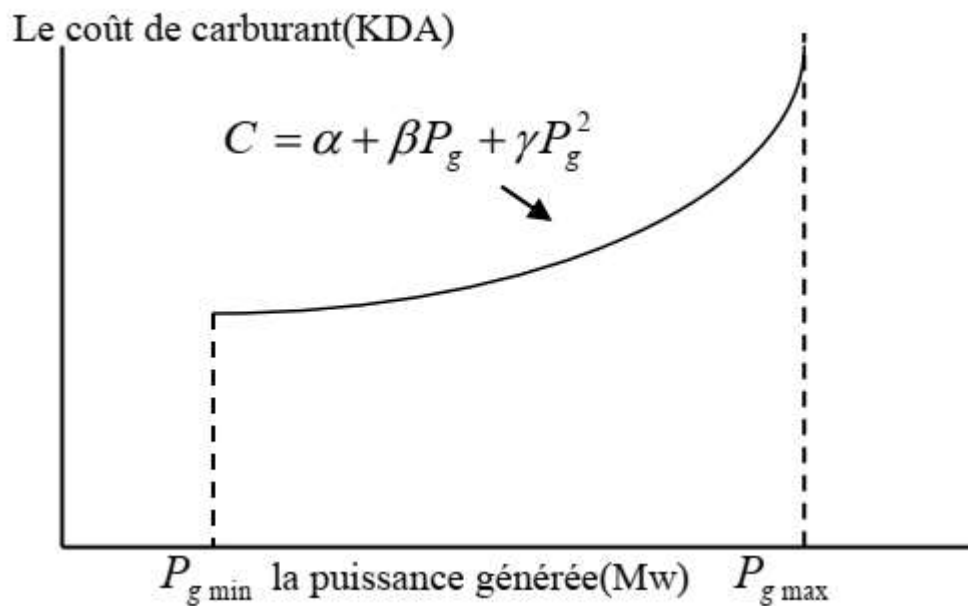


Figure II.3: Le coût de carburant en fonction de la puissance générée.

II.4.3.2 Incrémentation du coût

La dérivée partielle $\frac{dC_i}{dP_{gi}}$ avec ($i=1,2,\dots,n$) de la fonction de cout s'appelle l'incrémentation du coût du générateur i . Elle représente la tangente de la courbe qui lie le coût et la puissance générée comme elle est montrée sur la (Figure II.4). Son unité s'exprime en (\$ /KWh), pour les grands générateurs l'unité est (\$/MWh)[22].

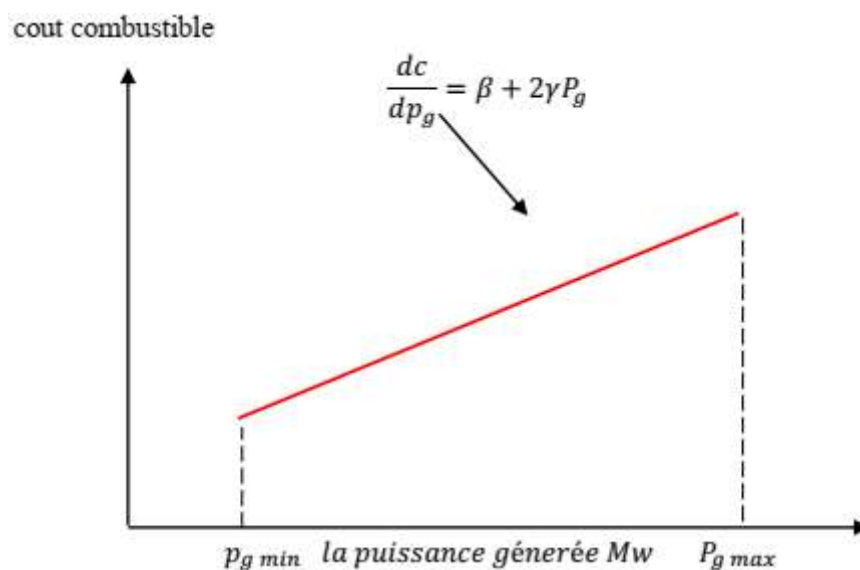


Figure II.4: La courbe de l'accroissement du coût de combustible.

Les points d'intersection de cette ligne avec les courbes du cout d'accroissement originales sont les valeurs optimales de la solution. Pour obtenir les puissances optimales des générateurs, il suffit de tracer des lignes verticales descendantes à partir des courbes du cout d'accroissement des générateurs [23].

II.5 Les contraintes

Les puissances actives générées optimales correspondant à un coût minimal, doivent obligatoirement respecter les contraintes de type égalité et inégalité. Les contraintes de sécurité expriment qu'en cas de perte d'un ou plusieurs ouvrages de production et/ou de transport, le réseau continue à fonctionner dans des limites admissibles [20].

II.5.1 Contraintes d'égalité

Dans le dispatching économique, la fonction objectif à minimiser est le coût total de production de générateurs, de telle sorte que la charge électrique du système soit entièrement satisfaite.

- On peut dire que les contraintes d'égalités vérifient la loi de Kirchhoff, bilans d'énergie

II.5.1.1 Cas d'un système sans pertes

Dans ce cas, la seule contrainte est que la somme de toutes les puissances actives générées, soit égale à la charge totale de système [20]

$$\sum_{i=1}^k P_{gi} = P_d \quad (\text{II.2})$$

II.5.1.2 Cas d'un système avec pertes

Dans ce cas, la somme de toutes les puissances actives générées, soit égale à la somme de la puissance demandé par la charge de système et les pertes de transmission de cette puissance [20].

$$\sum_{i=1}^k P_{gi} = \sum_{i=1}^k P_d + P_L \quad (\text{II.3})$$

II.5.2 Contraintes d'inégalité

Les contraintes d'inégalité de l'OPF reflètent les limites sur le dispositif physique dans systèmes d'alimentation aussi bien que les limites créées pour assurer la sécurité de système. Le plus habituel les types de contraintes d'inégalité sont des limites supérieures de tension des jeux de barres de générations et les jeux de barres de charge, aussi les limites minimal de tension des jeux de barres à quelques générateurs, les limites de chargement maximum de ligne et les limites de appareils et les outilles de réglage [25].

II.6 Formulation mathématique du problème dispatching économique

Le dispatching économique statique sans perte est plus simple, seul la puissance active générée par la centrale influence le coût, la résolution est faite pour un instant précis.

La solution du dispatching économique est obtenue à l'aide de deux types de méthodes d'optimisation:

- La méthode de Kuhn-Tucker et la méthode de gradient utilisant le gradient (fonction de Lagrange).
- La méthode d'itération de Lambda qui utilise les itérations (minimisation sans gradient).

Dans certains cas on peut considérer le problème de dispatching comme linéaire par parties, on utilise alors la programmation linéaire.

II.6.1 Dispatching économique sans pertes

Le dispatching économique sans pertes ne tient pas compte des pertes engendrées par le transit de puissance dans les lignes. La topologie du réseau n'aura donc aucune incidence sur la répartition de la production. Seuls les coûts liés à la production sont pris en compte.

On en conclut que le modèle utilisé par le dispatching économique sans pertes, considère que les pertes de puissance actives dans les lignes de transport et les transformateurs sont négligeables, et que les équations de l'écoulement de puissance ne sont pas prises en considération [06].

II.6.1.1 Méthodes graphique du problème dispatching économique

Le problème du dispatching économique peut être résolu par une méthode graphique, en traçant la courbe d'accroissement du cout $\lambda = f(P_{gi})$, pour chaque générateur et sur le même

plan. En ajoutant graphiquement les valeurs des puissances, on aboutit à une seule courbe résultante représentant le coût d'accroissement total de tous les générateurs. La valeur de la charge totale (P_d) peut être prise comme point de départ d'une ligne verticale, tirée jusqu'à ce que la ligne du coût d'accroissement totale soit traversée. Cette valeur de la traversée (Optimum) est prise comme point de début d'une ligne horizontale allant vers la gauche. Cette ligne indique la valeur optimale de lambda (λ^*) pour toutes les puissances actives des générateurs.

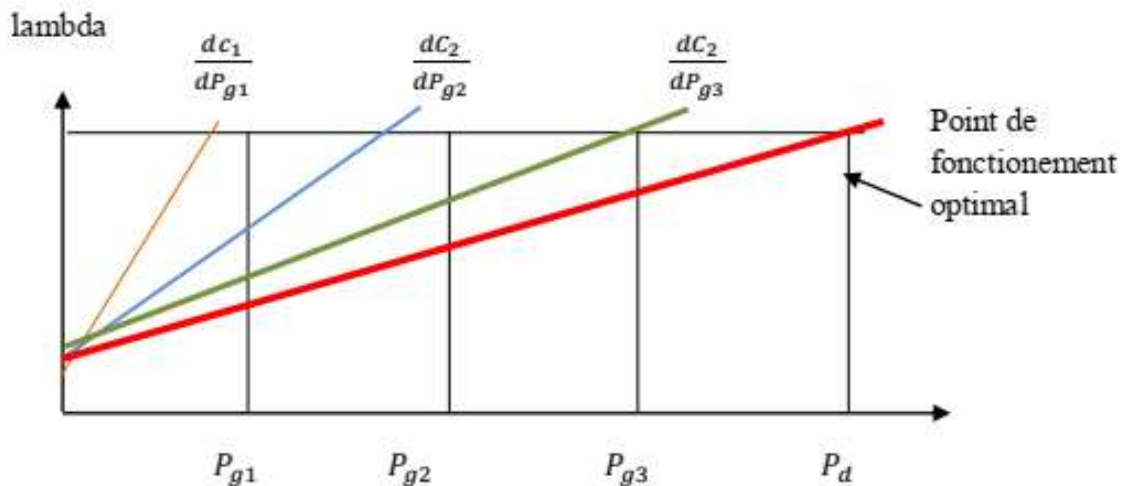


Figure II.5: La méthode graphique de résolution de l'D.E sans pertes.

Les points d'intersection de cette ligne avec les courbes du coût d'accroissement originales sont les valeurs optimales de la solution. Pour obtenir les puissances optimales des générateurs, il suffit de tracer des lignes verticales descendantes à partir des courbes du coût d'accroissement des générateurs [18].

II.6.1.2 Méthodes lagrangien

Le système des équations (II.1) et (II.3) est un problème d'optimisation non linéaire avec contraintes, qui doit être résolu par le développement d'une fonction qui s'appelle la fonction de Lagrange. Pour obtenir l'extremum d'une fonction objective, on doit ajouter la fonction de contrainte à la fonction objective, par la multiplication par un coefficient qui s'appelle le multiplicateur de Lagrange, qui est préalablement indéterminé.

La fonction augmentée de Lagrange du problème est donnée:

$$\sum_{i=1}^{ng} (\alpha + \beta_i P_{gi} + \gamma P_{gi}^2) + \lambda (P_d - \sum_{i=1}^{ng} P_{gi}) \quad (\text{II.4})$$

Les conditions d'optimalités nécessaire sont les équations suivantes:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial P_{gi}} = \beta_i + 2\gamma_i P_{gi} - \lambda = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = P_d - \sum_{i=1}^{ng} P_{gi} = 0 \\ P_{gi}^{min} < P_{gi} < P_{gi}^{max} \end{array} \right. \quad (\text{II.5})$$

On peut résoudre ce système d'équations d'ordre B_{00} , B_{ij} par la substitution des valeurs P_{ij} des premières équations dans l'avant dernière équation :

$$P_{gi} = \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i}; \quad i = 1; ng \quad (\text{II.6})$$

$$\sum_{i=1}^{ng} \frac{\lambda}{2\gamma_i} = P_d + \sum_{i=1}^{ng} \frac{\beta_i}{2\gamma_i} = \quad (\text{II.7})$$

La valeur optimale de lambda déterminée de l'équation (II.8) est comme suit:

$$\lambda = \lambda_{opt} = \left(P_d + \sum_{i=1}^{ng} \frac{\beta_i}{2\gamma_i} \right) / \sum_{i=1}^{ng} \frac{1}{2\gamma_i} \quad (\text{II.8})$$

La valeur numérique optimale de lambda peut être remplacée dans l'équation (II.8) pour obtenir toutes les valeurs optimales des puissances générées:

$$P_{gi} = P_{gopti} = \frac{1}{2\gamma_i} \left(\left(\left(P_d + \sum_{i=1}^{ng} \frac{\beta_i}{2\gamma_i} \right) / \sum_{i=1}^{ng} \frac{1}{2\gamma_i} \right) - \beta_i \right); i = 1, ng \quad (\text{II.9})$$

II.6.2 Dispatching économique avec pertes

Dans les systèmes réels, le transport de l'énergie électrique vers les jeux de barres de charge est souvent accompagné par des pertes de transmission. Le problème du dispatching

économique devient un peu compliqué par rapport au cas précédant où les pertes ont été négligées. Donc, la topologie du réseau aura une incidence sur la répartition optimale de la production. Cependant pour pénaliser les centrales qui produisent de la puissance dont le transit provoque des pertes importantes, nous multiplierons les coefficients de leur coût par un facteur de pénalité [31]

Il existe deux approches générales pour résoudre le problème du dispatching économique avec pertes de puissance:

a- Considération des pertes constantes:

Dans ce cas, la valeur de pertes se rassemblera avec la puissance demandée totale et le problème sera étudié comme le cas sans pertes.

b- pertes variables:

Nous devons développer une expression mathématique des pertes de puissances actives, en fonction des puissances actives des générateurs.

II.6.2.1 Calcule les pertes

Il existe deux approches générales pour calculer les pertes:

- On calcule les pertes de transmission par les méthodes de calcul de l'écoulement de puissance N-R ou G-S.
- La méthode de «*formule des pertes*» est basée sur l'approximation des pertes totales de puissance active par une fonction directe des puissances actives des générateurs (P_{gi}), donnée par l'équation suivante [13].

$$P_i = \sum_{i=1}^{ng} \sum_{jj=1}^{ng} B_{ij} P_{gi} P_{gi} + \sum_{i=1}^{ng} B_{i0} P_{gi} + B_{00} \lambda \quad (\text{II.10})$$

: puissance active du générateur i

B_{00} , B_{ij} , B_{i0} coefficients de pertes (constantes réelles).

Les coefficients de pertes sont des constantes réelles spécifiques au réseau étudié, et sont calculés en fonction de la matrice d'impédance du réseau, des puissances actives et réactives demandées et des tensions. Dans la littérature, il existe beaucoup de formules pour le calcul des coefficients de pertes.

II.6.2.2 Incrémentation des pertes de transmission

Soit P_L Les pertes totales dans les lignes de transmission. La dérivée partielle $\delta P_L / \delta P_{Gi}$ Sont appelées l'incrémentation des pertes de transmission (ITL), elle représente la variation des pertes totales liée à la variation de la puissance générée par le générateur i [25].

II.6.2.3 La résolution du problème

Pour résoudre le problème du dispatching économique avec pertes, on peut formulée le lagrangien avec pertes comme suit [25] :

$$L = F(P_{gi}) + \lambda.H(P_{gi}) \quad (\text{II.11})$$

Où: $H(P_{gi})$: est la contrainte d'égalité

$$H(P_{gi}) = P_d + P_L(P_{g1}, P_{g2}, P_{g3} \dots \dots P_{gn}) - \sum_{i=1}^{ng} P_{gi} = 0 \quad (\text{II.12})$$

$$L = \sum_{j=1}^{ng} P_j(P_{gi}) + \lambda \left(P_d, P_L, (P_{g1}, P_{g2}, P_{g3} \dots \dots P_{gn}) - \sum_{i=1}^{ng} P_{gi} \right) \quad (\text{II.13})$$

Pour Minimisé la fonction de lagrangien il faut que:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\delta L}{\delta P_{gi}} = \beta_i + 2\gamma_i - \lambda \left(\frac{\delta P_L}{\delta P_{gi}} - 1 \right) = 0 \\ \frac{\delta L}{\delta \lambda} = P_d + P_L(P_{g1}, P_{g2}, P_{g3} \dots \dots P_{gn}) - \sum_{i=1}^{ng} P_{gi} \end{array} \right\} \quad (\text{II.14})$$

$$P_{g(\min)} \leq P_{gi} \leq P_{g(\max)} \quad i=1,2,3,\dots,ng$$

$$\frac{dC_i}{dP_{gi}} = \lambda \left(1 - \frac{\delta P_L}{\delta P_{gi}} \right) \Rightarrow \lambda = \left(1 - \frac{\delta P_L}{\delta P_{gi}} \right)^{-1} \cdot \frac{dC_i}{dP_{gi}} \quad (\text{II.15})$$

$$\lambda = f_i \cdot \left(\frac{dC_i}{dP_{gi}} \right) \quad (\text{II.16})$$

$$\text{ou: } f_i \cdot \left(\frac{\delta P_L}{\delta P_{gi}} \right)^{-1} \quad (\text{II.17})$$

f_i : représente le facteur de pénalité de central i .

Donc, pour pénaliser les centrales qui produisent de la puissance dont le transit provoque des pertes importantes, nous multiplierons les coefficients de leur fonction de coût par un facteur de pénalité f_i .

Par les mêmes étapes du dispatching sans pertes on trouve que:

$$P_{gi} = \frac{\lambda f_i^{-1} - \beta_i}{2\gamma_i} \quad (\text{II.18})$$

$$P_d + P_L(P_{g1}, P_{g2}, P_{g3} \dots \dots P_{gn}) - \lambda \sum_{i=1}^{ng} \frac{f_i^{-1}}{2\gamma_i} + \sum_{i=1}^{ng} \frac{\beta}{2\gamma_i} = 0 \quad (\text{II.19})$$

$$\lambda = \frac{P_d + P_L(P_{g1}, P_{g2}, P_{g3} \dots \dots P_{gn}) + \sum_{i=1}^{ng} \frac{\beta}{2\gamma_i}}{\sum_{i=1}^{ng} \frac{f_i^{-1}}{2\gamma_i}} \quad (\text{II.20})$$

$$P_{gi} = \left[\frac{1}{2\gamma_i} \left(\left(\frac{P_d + P_L(P_{g1}, P_{g2}, P_{g3} \dots \dots P_{gn}) + \sum_{i=1}^{ng} \frac{\beta}{2\gamma_i}}{\sum_{i=1}^{ng} \frac{f_i^{-1}}{2\gamma_i}} \right) f_i^{-1} - \beta_i \right) \right] \quad (\text{II.21})$$

Le problème devient plus difficile à résoudre car, suite à l'introduction du terme de pertes les équations de stationnarité du Lagrangien deviennent des équations couplées.

$$P_L = (P_{g1}, P_{g2}, P_{g3} \dots \dots P_{ng}) \quad (\text{II. 22})$$

Donc, il faut utiliser une méthode itérative pour calculer chaque puissance sous les étapes suivants:

L'étape 1: Calculer des valeurs initiales des puissances générées par la méthode de lagrangien sans pertes.

L'étape 2: Remplacement des puissances générées dans la formule des pertes.

L'étape 3: Calcule des coefficients $\frac{\delta P_L}{\delta P_{gi}}$ ensuite, l'évaluation des facteurs de pénalités de tous les générateurs.

L'étape 4: Calculer $(^{(k)})$ correspondant.

L'étape 5: Mise à jour des P_{gi} .

L'étape 6: Vérifier que: $(\sum_{i=1}^{ng} P_{gi} - P_d - P_L < \varepsilon)$

Si oui: On passe à l'étape (7).

Si non: On retourne à l'étape (2).

L'étape 7: On calcule le coût de chaque central puis le coût total qui représente la solution optimale du problème.

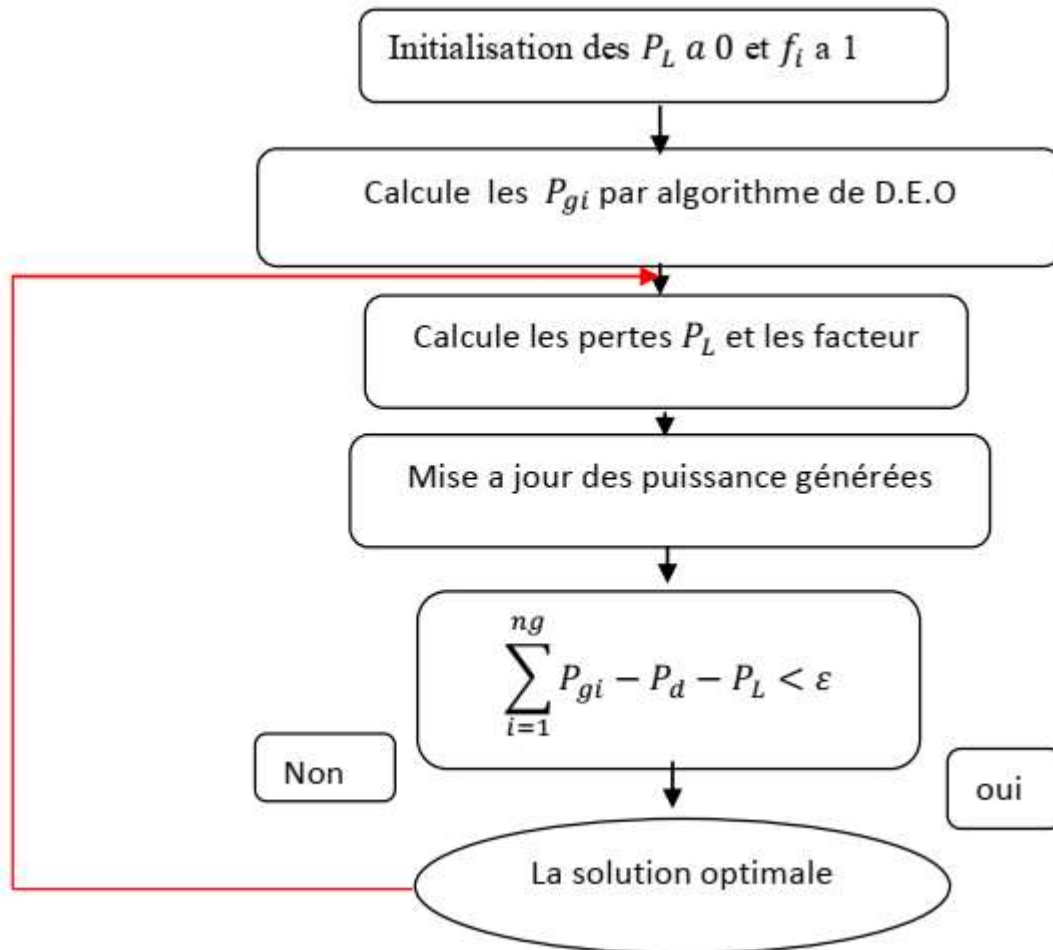


Figure II.6: L'organigramme de méthode de lagrangien avec pertes.

II.7 Le modèle mathématique de dispatching environnemental

La combustion des fiouls dans les centrales thermiques contribue à la pollution atmosphérique par leur émission gazeuse. Il y a de diverses émissions nocives produites aux centrales mais les principaux polluants gazeux sont les oxydes d'azote (NOX), le dioxyde de soufre (SO₂), et le dioxyde de carbone (CO₂). Le dioxyde de soufre, et le dioxyde de carbone dépendent beaucoup du type de carburant utilisé dans la production d'électricité. La fonction des émissions comprend deux termes, un terme polynomial et un terme exponentiel [23]. La

quantité des émissions des gaz toxiques peut être mathématiquement représentée comme fonction des puissances électriques générées.

Les paramètres α , β , μ , γ , et ζ sont déterminés par des techniques d'interpolation basées sur des données réelles. L'expression analytique de cette fonction de l'unité i est la suivante [24]:

$$E_i(P_i) = \alpha_i + \beta_i P_{gi} + \gamma_i P_{gi}^2 + u_i \exp(\zeta_i P_{gi}) \quad \text{ton/hr} \quad (\text{II.23})$$

II.8 Le coût du combustible avec l'effet d'ouverture des vannes

D'habitude, les grandes centrales thermiques disposent de plusieurs vannes d'admission de vapeur, qui sont utilisées pour le contrôle de la puissance délivrée par l'unité. Chaque fois que l'on commence à ouvrir une vanne d'admission, on enregistre une augmentation soudaine des pertes et il en résulte alors des ondulations dans la courbe de coût du combustible. Avec l'ouverture graduelle de la vanne, ces pertes diminuent progressivement jusqu'à ce que la vanne soit complètement ouverte [24].

La figure (II.7) montre la courbe de coût typique d'une unité thermique avec cinq vannes d'admission de vapeur.

A: Valve primaire B: valve secondaire C: Valve tertiaire D: Valve quaternaire E: Valve Quinaire.

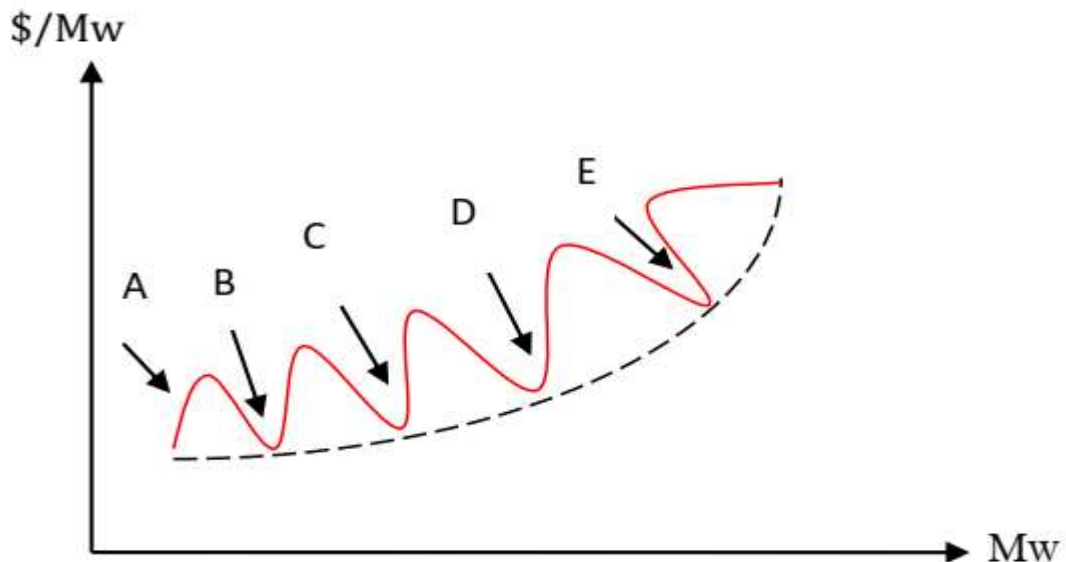


Figure II.7: L'effet d'ouverture des vannes.

L'effet d'ouverture de vanne est souvent modélisé en ajoutant une composante sinusoïdale à la fonction quadratique de base

$$E_i(P_i) = a_i P_{gi}^2 + b_i P_{gi} + c_i + e_i \sin(f_i(P_{i \min} - P_i)) \quad (\text{II.24})$$

$a_i, b_i, c_i, e_i, f_i, P_i$ sont les coefficients de coût de l'unité génératrice i .

II.9.L'optimisation multi-objective

La formulation précédente était relative à un problème dans lequel on recherchait un optimum pour une fonction objectif (f dans l'expression précédente).

Cependant, lorsque l'on modélise un problème, on cherche souvent à satisfaire plusieurs objectifs. Par exemple, on veut un système performant et on veut aussi que ce système consomme peu. Dans ce cas, on parle de problème d'optimisation multi-objective (ou problème d'optimisation multicritère). Celui-ci s'écrit de la manière suivante [13]: Un problème multi-objectif ou multicritère peut être défini comme un problème dont on recherche l'action qui satisfait un ensemble de contraintes et optimise un vecteur de fonctions objectives.

Par la suite, nous allons voir que les problèmes d'optimisation ont en général plusieurs solutions car la définition d'un optimum ne peut pas être établie dans les problèmes multiobjectifs.

Le paragraphe suivant donne la définition mathématique d'un problème d'optimisation multiobjectif. Nous conserverons les mêmes notations dans la suite du document. [14]

II.9.1 Définition

Un problème d'optimisation multi-objectif peut être formulé, d'une façon générale, selon les équations suivantes:

$$\text{Minimiser : } y = f(x) = [f_1(x), f_2(x), f_3(x), \dots \dots \dots f_n(x),]^T \quad (\text{II.25})$$

Chercher le vecteur $x^* = [x_1^*, x_2^*, x_3^*, \dots \dots \dots x_n^*,]^T$ qui satisfait les conditions suivantes:

$$g_j(x) \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, M$$

$$\text{Tel que : } x^* = [x_1^*, x_2^*, x_3^*, \dots \dots \dots x_n^*,]^T \in \Omega$$

D'où,

- y Représente le vecteur des fonctions objectives.
- g_j Représente les contraintes.
- x Représente le vecteur des variables de décision dans l'espace de recherche Ω .

L'espace de recherche occupé par les fonctions objectives appelé l'espace des objectifs. Le sous-espace des fonctions objectives qui satisfait les contraintes s'appelle l'espace de recherche réalisable.

Les problèmes d'optimisations multi-objectifs n'ont pas une seule solution mais un ensemble des solutions dites solutions de compromis. Généralement, il n'existe aucune solution pour laquelle tous les objectifs sont optimisés, dû au fait que les objectifs sont, souvent, conflictuels. Un produit, par exemple, ne peut pas être très performant au plus bas prix. Dans ce cas, plusieurs compromis sont possibles et souvent c'est le facteur humain qui décide de l'optimalité d'une solution [15].

La solution utopique de c'est la solution optimale pour tous les objectifs

$$x_0^* \in \Omega: \forall x \in \Omega f_i(x_0^*) \leq f_i(x). \text{ pour } i \in \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad (\text{II.26})$$

Dans le cas où $n = 1$, le problème d'optimisation multi-objectif est réduit à un problème d'optimisation mono-objectif. Dans ce cas, la solution utopique est simplement l'optimum global.

Dans le cas général où $n > 1$, la solution utopique n'existe pas puisque les fonctions objectives sont généralement contradictoires. Dans ce cas, il existe un ensemble de solutions nommées les solutions non dominées (pour lesquels une fonction ne peut pas être améliorée sans dégrader au moins une autre équation) qui représentent le compromis entre les fonctions objectives.

II.9.1.1 Choix d'une méthode

La nature des variables, des domaines des définitions et des critères à optimiser va influencer le choix de la méthode d'optimisation utilisée.

Il y'a deux grandes familles de méthode d'optimisation:

- Les méthodes déterministes, qui assurent la convergence vers l'optimum de la fonction le plus proche de la solution courante en explorant son voisinage.

- Les méthodes stochastiques, qui s'attachent à faire converger la solution vers l'optimum global de la fonction.

II.9.1.2 Les différentes méthodes

La manière la plus naturelle et la plus ancienne de résoudre un problème d'optimisation est la méthode par essai/erreur. Le décideur corrige ses actions en fonction des résultats jusqu'à obtenir une solution satisfaisante. Cette méthode, apparemment simpliste, est à la base d'un très grand nombre de méthodes d'optimisation. [22]

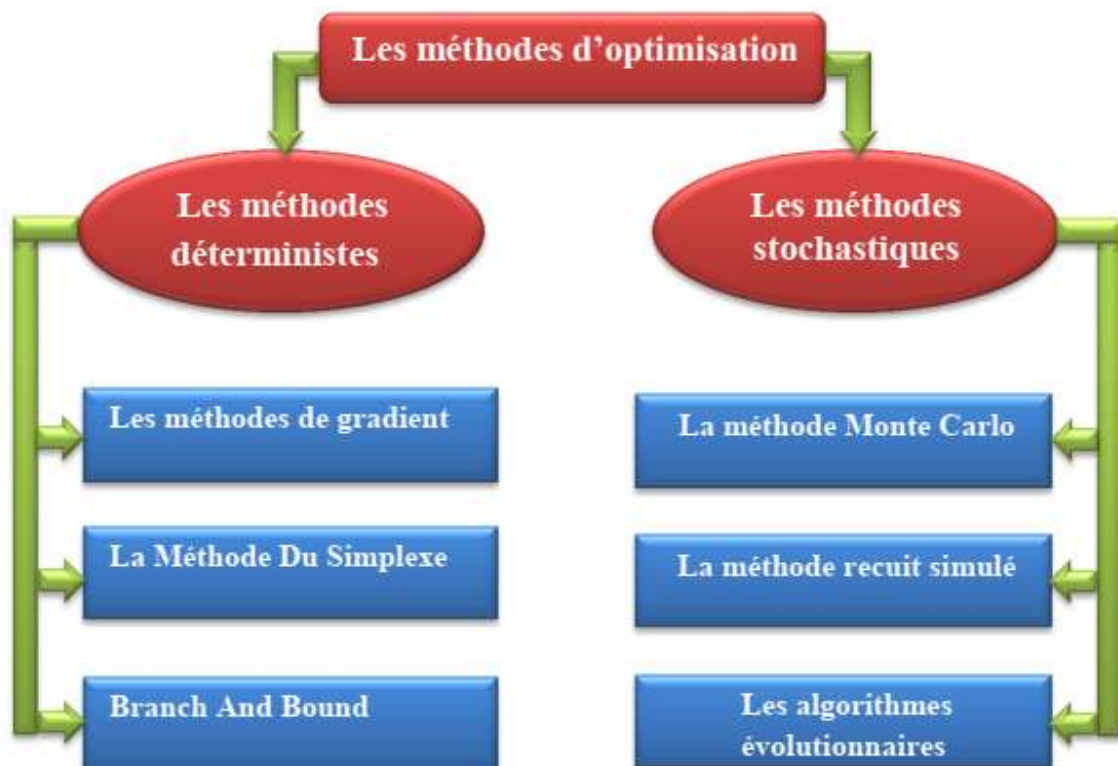


Figure II.8: schéma bloc représente les différentes méthodes d'optimisation.

II.9.2 Les méthodes déterministes

II.9.2.1 Définition

Les méthodes déterministes se caractérisent par une exploration systématique de l'espace de recherche. Il existe de nombreuses méthodes d'optimisation déterministes. Les méthodes locales qui assurent la convergence vers l'optimum de la fonction le plus proche de la solution courante en explorant son voisinage et les méthodes globales qui s'attachent à faire converger la solution vers l'optimum global de la fonction.

Parmi les méthodes déterministes on va citer quelques méthodes:

- Les méthodes de gradient.
- La méthode multi-start.
- La méthode De Nelder Mead Ou La Méthode Du Simplexe.
- L'algorithme de séparation –évaluation : Branch And Bound.

Généralement Les méthodes déterministes vues ci-dessus sont très efficaces sur des problèmes particuliers et en général de petite taille. Mais sur des problèmes de grande taille, la probabilité de trouver l'optimum global en un temps raisonnable dépend essentiellement de la bonne connaissance du problème par le décideur. Si les conditions exposées ci-dessus ne sont pas réunies, le décideur devra plutôt s'orienter vers des méthodes stochastiques.

II.9.3. Les méthodes stochastiques

Les méthodes stochastiques sont caractérisées par un processus de création aléatoire ou pseudoaléatoire des points dans l'espace d'état, une heuristique qui permet de guider la convergence de l'algorithme.

Ces méthodes sont utilisées dans des problèmes où on ne connaît pas d'algorithme de résolution en temps polynomial et pour lesquels on espère trouver une solution approchée de l'optimum global. D'un point de vue théorique, il existe des théorèmes de convergence pour les algorithmes génétiques [16] et pour le recuit simulé qui justifient l'usage de ces méthodes. En général, il est établi que l'on a une probabilité très élevée de trouver une solution optimale, si un temps de calcul très important est alloué.

Parmi les méthodes stochastiques on va citer quelques méthodes:

- La méthode Monte Carlo.
- La méthode recuit simulé.
- La méthode branch and bound stochastique.
- La méthode Tabou.
- La méthode des algorithmes évolutionnaires.

II.10 Conclusion

Dans ce chapitre, on a exposé la formulation mathématique générale du problème de la répartition optimale de puissance, qui se traduit par un problème d'optimisation d'une fonction objective sujet à des contraintes. La plupart des équations formulant ce problème sont non linéaire, de ce fait, il est nécessaire d'utiliser une technique de programmation non linéaire pour la résolution du problème.

CH III

**Méthodes D'optimisations Méta-
heuristiques**

III.1. Introduction

Le problème d'optimisation est un problème dont on peut distinguer une ou plusieurs fonctions coût qui permettent de différencier une bonne solution d'une mauvaise. Comme un nouveau problème d'optimisation se pose en ingénierie, il faut parfois définir de nouvelles méthodes de résolution car les techniques existantes ne sont pas précisément adaptées au ce problème [34].

Ces techniques peuvent être donc la source d'inspiration de cette méthode issue de la modélisation des systèmes complexes naturels. En fait, certains chercheurs pensent que bien que les noms des méthodes puissent être différents, les idées fondamentales utilisées sont les mêmes dans la plupart des méthodes d'optimisation méta -heuristique récemment développées [38].

III.2. Méthodes Méta heuristiques

Le terme méta heuristique a été inventé par Glover (1986) et combine le préfixe méta- (signifiant «après» ou «au-delà », à un niveau supérieur) avec l'heuristique («trouver» ou «découvrir»). Dans les méthodes d'optimisation classiques, la solution optimale exacte est trouvée dans un laps de temps fini (bien que souvent prohibitif). En revanche, les méthodes méta heuristiques visent à trouver une solution « assez bonne » dans un temps de calcul «suffisamment petit », offrant ainsi un meilleur compromis entre la qualité de la solution (c'est-à-dire la précision) et le temps de calcul. De nombreux algorithmes méta heuristiques ont été développés au cours des dernières décennies. Les algorithmes génétiques et l'optimisation des essais de particules ont été largement appliqués car ils ont démontré deux avantages principaux par rapport aux méthodes basées sur la trajectoire :la capacité de traiter des problèmes complexes et le parallélisme. En outre, les méthodes basées sur la population ont de meilleures performances pour l'optimisation globale et peuvent traiter des fonctions objectives qui sont stationnaires ou transitoires, linéaires ou non linéaires, continues ou discontinues[39].En effet, ces algorithmes se veulent des méthodes génériques pouvant optimiser une large gamme de problèmes différents, sans nécessiter de changements profonds dans l'algorithme employé. Les métas heuristiques sont en général non-déterministes, elles peuvent ne pas trouver la solution optimale, et encore moins prouver l'optimalité de la solution trouvée. On peut distinguer les métas heuristiques qui font évoluer une seule solution sur l'espace de recherche à chaque itération et les métas heuristiques à base de population de solutions. En général, elle à base de solution unique sont plutôt axées sur l'exploitation de l'espace de recherche, on n'est donc jamais sûr d'obtenir l'optimum optimum. Les méta

heuristiques à base de population sont plutôt exploratoires et permettent une meilleure diversification de l'espace de recherche [30].

III.2.1.Définition des Méthodes Méta heuristiques

Les métras heuristiques sont un ensemble d'algorithmes d'optimisation visant à résoudre les problèmes d'optimisation difficiles. Elles sont souvent inspirées par des systèmes naturels, qu'ils soient pris en physique (cas du recuit simulé), en biologie de l'évolution (cas des algorithmes Génétiques) ou encore en éthologie (cas des algorithmes de colonies de fourmis ou de l'optimisation par essaims particulaires) [21]. Ces techniques métras heuristiques peuvent être globalement divisés en deux classes: les méthodes basées sur la trajectoire et les méthodes basées sur la population. La principale différence entre ces deux classes réside dans le nombre de solutions provisoires utilisées à chaque étape de l'algorithme (itératif). Une méthode basée sur la trajectoire (par exemple les méthodes d'escalade, de recherche taboue, de recuit simulé et de recherche locale exploratoire) commence par une seule solution initiale et, à chaque étape de la recherche, la solution actuelle est remplacée par une autre (souvent la meilleure) solution trouvée dans son quartier. Il n'est pas rare que les méthodes métra heuristiques basées sur la trajectoire trouvent rapidement une solution optimale locale.

Une classification simplifiée des méthodes d'optimisation étudiées dans ce chapitre est présentée dans la figure III.1, synthétisée à partir des classifications précédentes déjà propose dans la littérature.[39]

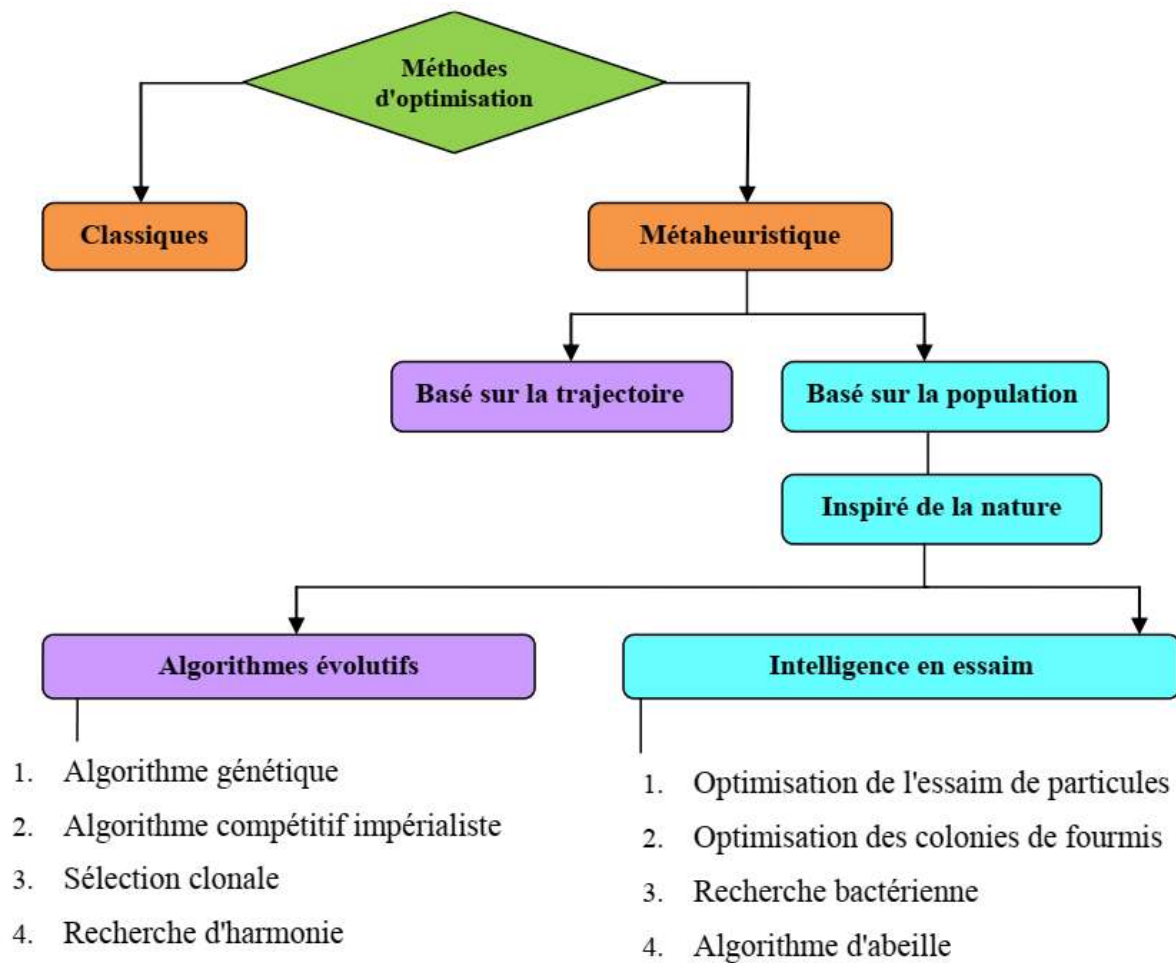


Figure III.1: Classification des méthodes d'optimisation des métras heuristiques.

III.2.2. Principe de Voisinage

Sans conteste, le principe général le plus largement utilisé dans l'élaboration des métras heuristiques est celui de voisinage. À chaque solution s du problème, on associe un sous-ensemble $V(s)$ de solutions. Pour un problème d'optimisation combinatoire non convexe, pour lequel il est possible de Définir un ensemble de voisinages a priori intéressants, la situation se complexifie. Il devient Alors difficile de se décider pour l'un ou l'autre des voisinages autrement que par des essais.

Comme le voisinage n'est qu'une partie des principes, tous interdépendants, utilisés dans L'heuristique, le choix d'un (ou de plusieurs) voisinage devient réellement problématique car on Ne dispose que de très peu de résultats théoriques sur la qualité d'un voisinage pour un problème Particulier. [40] Donc les méthodes de voisinage diffèrent principalement entre elles par le voisinage utilisé et la stratégie de parcours d'une solution voisine.

III.2.3. Algorithme génétique

Les algorithmes génétiques (AG) sont des méthodes d'optimisation stochastiques maintenant bien connues, sont inspirés des mécanismes de la sélection naturelle et de la génétique [21], appartiennent à la famille des algorithmes évolutionnistes, elles ont été développées par J.H. Holland, au début des années 1970 comme une classe de techniques de recherche inspirées de la biologie évolutive. Un optimiseur GA n'opère pas sur les paramètres eux-mêmes, mais plutôt sur un codage des paramètres [41].

III.3. Optimisation des écosystèmes artificiels (AEO) et formulation mathématique

L'algorithme d'optimisation des écosystèmes artificiels (AEO) est une nouvelle technique inspirée de la nature qui a été proposée pour la première fois par Weiguo Zhao et al. Dans [22] pour résoudre efficacement les problèmes d'optimisation d'ingénierie. Un écosystème est un groupe d'organismes vivants tels que des animaux, des personnes et des plantes qui vivent ensemble dans une zone particulière et cela explique la corrélation entre eux. L'écosystème est d'abord divisé en deux parties : (i) les organismes vivants et (ii) les organismes non vivants. Les organismes vivants comprennent les personnes, les animaux, les plantes et les bactéries et les organismes non vivants comprennent l'eau, pelouse et soleil. AEO est un algorithme basé sur la population qui imite les comportements des organismes vivants dans la nature, la production, la consommation et les processus de décomposition à la surface de la terre. Le principal effort pour maintenir l'équilibre écologique dans un écosystème est le flux de l'énergie et les ressources alimentaires. Un écosystème classe les éléments vivants en trois groupes distincts d'organismes, à savoir les producteurs, les consommateurs et les décomposeurs. Le premier groupe est le producteur, ce sont les plantes (un autotrophe) puisqu'elles produisent sa propre énergie par photosynthèse. Le second est le consommateur comme les animaux, qui dépendent de l'autre organisme qui dépendent les uns des autres soient par sa famille soit du producteur pour obtenir de l'énergie. La troisième classe d'organismes vivants est celle des décomposeurs, qui comprennent la plupart des bactéries et des champignons. Une fois qu'un organisme est mort, les décomposeurs commencent à décomposer la matière résiduelle et à les convertir en une nouvelle énergie sous forme d'eau, de minéraux et de dioxyde de carbone. Ensuite, ces molécules simples servent de source d'alimentation aux producteurs pour produire à nouveau du sucre et de l'oxygène par photosynthèse et le processus de cycle sera répété. Les trois types d'organismes vivants interagissent de plusieurs manières les uns avec les autres pour former une chaîne

premier opérateur est les Producteurs. Le premier opérateur est porté pour améliorer l'équilibre entre les capacités de diversification et d'intensification, tandis que la consommation était dédiée au processus d'exploitation et la décomposition pour améliorer le processus d'exploitation dans cet AEO. Pour chaque population, il n'y a qu'un seul producteur et un seul décomposeur, tandis que les autres sont les consommateurs. La valeur de fitness est représentée par le niveau d'énergie de chaque individu associé dans une population. Autrement dit, les individus sont triés par ordre décroissant selon leur énergie.

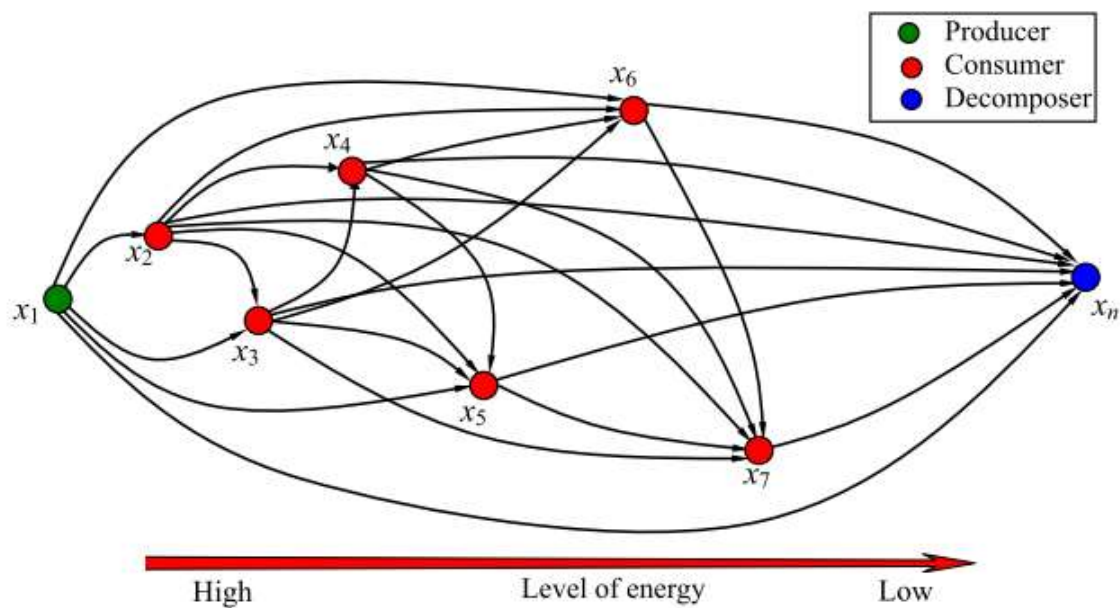


Figure III.3: Une théorie des graphes pour un écosystème basé sur l'AEO.[33]

III.3.1. Production

Dans cet écosystème, les candidats qui ont la pire valeur de fitness fonctionnel sont classés comme les meilleurs, tandis que les pires candidats correspondent à la valeur de fitness la plus élevée.

Le pire candidat x_1 s'associe au niveau d'énergie le plus élevé (Producteur), tandis que le meilleur candidat x_n s'associe au niveau d'énergie le plus bas (Décomposeur). Le reste des candidats de la population sont des consommateurs : x_2 à x_5 définis par les herbivores, x_6 à x_7 omnivores et x_4 à x_6 sont des carnivores. Le producteur combine le dioxyde de carbone, l'eau, la lumière du soleil et la matière organique résultant du décomposeur pour produire sa nourriture (énergie) sous forme de sucre et d'oxygène. Dans cet algorithme, le producteur associé à la valeur de fitness la plus basse est mis à jour en fonction de ses limites dans

l'espace de recherche. Sur la base de cette mise à jour, les autres individus de la population tenteront de mettre à jour leurs positions. Dans AEO, l'opérateur de production génère un nouvel individu pour remplacer l'ancien entre le meilleur candidat (x_n) et un candidat généré aléatoirement (x_{rand}) dans l'espace de recherche. Mathématiquement, on peut exprimer ainsi :

$$X_1(t + 1) = (1 - a) + aX_{rand}(t) \quad (III.1)$$

$$a = \left(1 - \frac{iter}{max - iter}\right) \quad (III.2)$$

$$X_{rand} = lb + r(ub - lb) \quad (III.3)$$

III.3.2. Consommation

Une fois l'opérateur de production atteint, les consommateurs commencent à effectuer l'opérateur de consommation afin d'obtenir de l'énergie alimentaire. Dans cette phase, les consommateurs mangent un autre consommateur d'une faible énergie ou un producteur ou les deux ensembles. Par la suite, le concept de vol Levy est utilisé dans le but d'améliorer les modèles d'exploration. Le vol Levy imite généralement le véritable mécanisme de recherche des animaux. Un paramètre de consommation traité par le concept de vol Levy est défini comme suit :

$$a = \frac{1}{2} - \frac{v_1}{|v_2|} \quad (III.4)$$

$$v_1 \sim N(0,1), v_2 \sim N(0,1) \quad (III.5)$$

Où $N(0,1)$, est une distribution normale de {moyenne= 0 et STD =1}. Ce facteur de consommation est principalement très utile pour chaque consommateur vivant pour obtenir de la nourriture en utilisant les techniques de chasse possibles.

Si un consommateur est choisi au hasard comme herbivore, il ne mangera que les producteurs. Ce comportement est exprimé mathématiquement par l'équation. (III.6) :

$$X_i(t + 1) = X_i(t) + C \cdot (X_i(t) - X_1(t)), \quad i \in [2, \dots, n] \quad (III.6)$$

Dans le cas où un consommateur est choisi comme carnivore, il ne mangera que des consommateurs ayant une valeur de fitness inférieure. Ce comportement peut être représenté par l'équation (III.7).

$$\begin{cases} X_i(t+1) = X_i(t) + C. (X_i(t) - X_j(t)), & i \in [3, \dots, n] \\ j = \text{randi}([2i-1]) \end{cases} \quad (\text{III.7})$$

Avec le dernier cas de phase de consommation, lorsque le consommateur est considéré comme un omnivore, il pourra alors manger d'autres consommateurs ayant un niveau d'énergie plus élevé et des producteurs aussi. Ce comportement est donné par l'équation.

$$\begin{cases} X_i(t+1) = X_i(t) + C. (r_2 (X_i(t) - X_j(t))) + ((1 - r_2) (X_i(t) - X_j(t))), \\ i \in [3, \dots, n] \\ j = \text{randi}([2i-1]) \end{cases} \quad (\text{III.8})$$

III.3.3. Décomposition

Le paramètre de décomposition est plus important pour les AEO, qui agissent après chaque décès de tout individu de la population pour décomposer les résidus de cet individu. Pour obtenir un modèle mathématique approximatif de ce comportement, certains paramètres tels que le facteur de décomposition D , les variables de poids e et h sont pris en compte. Pour obtenir un modèle mathématique approximatif de ce comportement, certains paramètres tels que le facteur de décomposition D , les variables de poids e et h sont pris en compte. Ensuite, chaque individu X_i met à jour ses coordonnées en fonction du décomposeur x_n et via des paramètres prédéfinis.

Tels que D , e et h en fonction des équations suivantes :

$$X_i(t+1) = X_n(t) + D. (e. (X_n(t) - h. X_i(t))), \quad i = 1, \dots, n \quad (\text{III.9})$$

$$D = 3u, \quad u \sim N(0,1) \quad (\text{III.10})$$

$$e = r_3, \quad u \sim N(0,1) \quad (\text{III.11})$$

$$h = 2. r_3 - 1 \quad (\text{III.12})$$

Le processus d'optimisation dans AEO commence par une population d'individus générés aléatoirement dans l'espace de recherche, puis à chaque itération, le premier individu (producteur) met à jour ses coordonnées en fonction de l'Eq. (III.1), tandis que d'autres candidats de la population essaieront donc de mettre à jour leurs coordonnées en fonction de leur propre meilleur consommateur en utilisant les équations. (III.2), (III.3) et (III.4), sauf dans le cas de l'individu ayant la valeur de fitness la plus élevée, alors la position de cet individu sera mise à jour en utilisant l'équation. (III.6). Toutes les mises à jour susmentionnées sont répétées jusqu'à ce qu'un critère terminal soit satisfait. Enfin, la solution optimale ou quasi optimale qui correspond au meilleur individu trouvé jusqu'à présent est mémorisée.[33]

III.4. Algorithme d'optimisation des baleines (WOA)

Il est communément admis que les algorithmes inspirés par la nature ou inspirés par les algorithmes d'optimisation, qui incluent les algorithmes basés sur les essais (SA) et les algorithmes évolutionnaires (EA), constituent la discipline de l'intelligence informatique qui a existé au cours des dernières décennies. On dit que l'algorithme d'optimisation inspirée de la nature (NIO) est populaire en raison de son utilité pour résoudre des problèmes complexes dans différents des champs. Les algorithmes NIO, en particulier les SA, sont polyvalents, simples à utiliser, ce qui a grandement aidé à résoudre des problèmes dans le domaine des sciences et de l'ingénierie. Cet algorithme est proposé par et est considéré comme hautement significatif dans la résolution de problèmes. Il est également important de noter les règles de base des algorithmes qui s'inspirent principalement de la nature. Cela aidera à surveiller attentivement les solutions actuelles Constamment mis à jour pour augmenter leurs valeurs de fonction de coût. Conduisant un espace de recherche de manière efficace et approfondie, et en réduisant sa taille normale, une bonne solution est obtenue en mettant en œuvre le WOA. Néanmoins, les algorithmes sont très différents dans la manière dont ils construisent un équilibre entre la compétence de découverte ou de recherche globale et la compétence de recherche locale en termes d'exploitation autour de la solution optimale ou quasi optimale. En outre, un équilibre approprié entre l'enquête, l'exploration et l'exploitation est considéré comme une tâche très complexe dans les algorithmes inspirés de la nature ou méta-heuristiques, en particulier lorsqu'il s'agit du processus de développement en raison de la nature aléatoire ou aléatoire du processus.

D'optimisation. Le processus de découverte permet à l'optimiseur de creuser davantage dans l'espace de recherche dans une méthodologie ou un modèle global. De plus, les

changements rencontrés dans ce processus sont assez inattendus en raison de la population difficile. L'étape ou le processus d'enquête concerne l'affinement de solutions prometteuses à ce niveau ou à cette phase. Hof et Vander Gucht pensent montrent que les baleines possèdent certaines cellules qui ressemblent à celles du cerveau d'un être humain. Ces zones sont appelées cellules fusiformes. Ces cellules sont responsables des comportements sociaux, des émotions et du jugement chez les humains. En d'autres termes, les humains se distinguent des autres créatures par la présence des cellules fusiformes.

La principale raison de l'intelligence des baleines est le nombre de ces cellules qui sont plus nombreuses que celles des humains. Les baleines peuvent apprendre, penser, juger, interagir avec leur environnement et devenir émotif comme le fait un humain, mais un domaine de déficience de la baleine est dans le domaine de l'intelligence qui est de degré inférieur. Une observation plus poussée montre que les baleines, en particulier le type d'épaulard, peuvent développer leur type de langue ou dialecte pour une communication et une interaction efficaces les uns avec les autres.

Une autre caractéristique remarquable des baleines est généralement observée dans leur comportement social. Un bon nombre de baleines vivent seules tandis que la plupart se regroupent pour former des communautés. Certaines espèces de baleines, en particulier les épaulards, peuvent vivre en famille tout au long de leur vie. La baleine à bosse connue sous le nom de *Megaptera novaeangliae* est l'une des plus grandes baleines à fanons jamais connues. La baleine à bosse adulte est presque de la même taille que l'autobus scolaire. Ils aiment généralement chasser le krill ou les troupes de poissons de petite taille. L'attribut fascinant des baleines à bosse est leur stratégie de chasse particulière. Le comportement de chasse bien connu qui leur est propre est leur schéma d'alimentation qui peut être décrit comme le schéma d'alimentation en filet à bulles. Les baleines à bosse ont une stratégie unique de chasse aux petits poissons à la surface de l'eau. Ils recherchent des bancs de poissons ou de krill. Les études menées concernant le comportement de ces espèces de baleines montrent à quel point elles sont intelligentes, comme l'étaient les actions et le comportement des baleines à bosse en raison de la surface d'observation extérieure des catégories de baleines.

Trois cents événements d'alimentation au filet à bulles dérivés d'étiquettes ont été capturés en considérant neuf baleines à bosse distinctes. Deux mouvements liés aux bulles ont été établis et appelés « spirales ascendantes » et « doubles boucles. » Dans la plupart des situations, les baleines à bosse plongent de 12 m dans le mouvement précédent, puis commencent le processus de bouillonnement autour de la proie dans une formation en spirale et nager vers la surface. Il y a trois étapes principales associées au processus, à savoir la

boucle de capture, la boucle de corail et la queue de lob. Il est également nécessaire de comprendre le fait que le modèle d'alimentation de la baleine, connu sous le nom de modèle d'alimentation en filet à bulles, est une activité d'alimentation spéciale commune aux baleines à bosse. La figure III.4 montre le schéma de navigation de la baleine.

III.4.1. Mode d'alimentation de la baleine – Encerclement de la proie

Il est important d'indiquer le schéma selon lequel les baleines encerclent leurs proies et le processus de formation de l'algorithme. La baleine à bosse sera considérée dans ce contexte. Ces ensembles de baleines peuvent reconnaître et entourer stratégiquement l'emplacement de la proie.

L'identification de la position exacte dans l'espace de recherche a priori chez la baleine n'est généralement pas imaginable. Le WOA suppose que la proie cible est la meilleure solution candidate ou est proche de l'optimum. Si le meilleur modèle de recherche est créé et établi, l'aspect suivant pourrait être la tentative des autres agents de recherche de déplacer leurs positions par rapport au meilleur serveur de recherche.

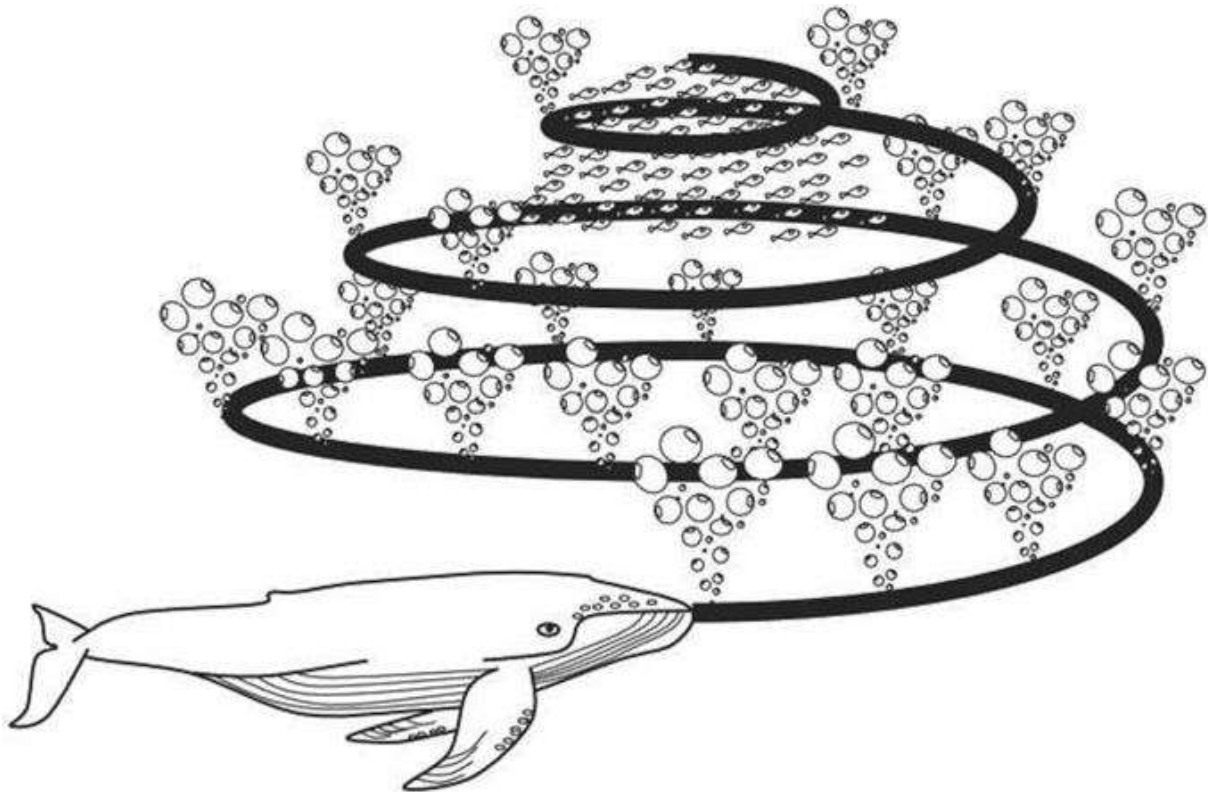


Figure III.4: Schéma de navigation d'une baleine utilisant un filet à bulles à la recherche de nourriture [34]

Les équations suivantes présentées par traduisent mathématiquement les comportements des baleines:

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_{(t)}^* - \vec{X}_{(t)}| \quad (\text{III.13})$$

$$\vec{X}_{(t+1)} = X_{(t)}^* - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (\text{III.14})$$

Dans les équations, t représente l'itération en cours ; \vec{A} et \vec{C} représentent les vecteurs de coefficients ; \vec{X} représente la meilleure solution en termes de vecteur de position rencontrée jusqu'à présent ; \vec{X} désigne le vecteur de localisation existant ; représente la valeur absolue. Le paramètre \vec{A} et \vec{C} peut encore être exprimé comme :

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (\text{III.15})$$

$$\vec{C} = 2\vec{r}_2 \quad (\text{III.16})$$

Dans ces équations, les constituants de a \vec{a} sont diminués de 2 à 0 de manière linéaire par itérations successives et r_1 et r_2 sont des vecteurs aléatoires dans [0,1]. Le changement de a \vec{a} est représenté par :

$$a = 2 - 2 \frac{t}{t_{max}} \quad (\text{III.17})$$

Où t_{max} est le nombre maximum d'itérations.

X^* Doit être restructuré et mis à jour après chaque processus d'itération. Le but est de vérifier si une meilleure solution est obtenue au cours du processus d'itération. La même idée est étendue à un espace d'exploration à n dimensions, et donc les agents de recherche peuvent se déplacer en hyper cube autour de la meilleure réponse obtenue à ce point.[34]

III.4.2. Attaque au filet à bulles

Ce comportement des baleines à bosse est modélisé par les deux techniques suivantes:

a. Mécanisme d'encerclement rétractable

Dans ce comportement, la valeur de \vec{a} est réduite dans l'équation. (III.15). Avec cela, la plage de variation de \vec{A} est également réduite avec la réduction de \vec{a} . En utilisant les valeurs arbitraires pour \vec{A} dans la plage [-1,1], l'emplacement récent d'un agent de recherche est situé quelque part au milieu de l'emplacement initial de l'agent de recherche et de l'emplacement du meilleur agent de recherche existant.

b. Emplacement de mise à jour de la spirale

Cette méthode de localisation est définie de telle sorte que, l'emplacement entre la baleine positionnée en (X, Y) et la proie positionnée en (X*, Y*) est calculé. Ensuite, le mouvement en forme de spirale des baleines à bosse est simulé par l'équation entre l'emplacement de la baleine et la position de la proie, comme indiqué dans l'équation. (III.17)

$$\vec{X}_{(t+1)} = \vec{D}' \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}_{(t)}^* \quad (\text{III.18})$$

En équation. (III.18), $|\vec{D}' = \vec{X}_{(t)}^* - \vec{X}_{(t)}|$ symbolise les distances entre la nième baleine et la proie qui est fonction de la meilleure solution obtenue ; b représente une constante qui définit le contour et la courbe du processus logarithmique en forme d'anneau ou de torsion ; l est le chiffre subjectif dans l'intervalle [-1, 1] et symbolise une augmentation composante par composante.

Lorsque les baleines à bosse attaquent leur proie, elles se déplacent le long d'un chemin en spirale en entourant leur proie. Pour simuler ce comportement, le mécanisme englobant rétrécissant et le modèle de formation pendant la navigation ainsi que le mécanisme de l'emplacement de mise à jour en spirale sont supposés avoir une valeur de probabilité équivalente de 0,5.

Ceci est démontré dans le système de l'équation. (III.18) tel que présenté ainsi:

$$\vec{X}_{(t+1)} = \begin{cases} \vec{X}_{(t)}^* - \vec{A} \cdot \vec{D}_{ifp} < 0.5 \\ \vec{D}' \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}_{(t)}^* \text{ sip } \geq 0.5 \end{cases} \quad (\text{III.19})$$

Dans cette équation p est un nombre arbitraire [0,1].[36]

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté en détail les mécanismes des méthodes méta heuristiques· il nous a permis de mieux saisir les concepts et les notions utilisées par les algorithmes métaheuristiques et leurs utilisations possibles. Puis nous avons abordés l'étude des optimiseurs tels que· l'optimiseur écosystèmes artificiels en anglais (Artificiel Ecosystem Optimiser) (AEO), ainsi que l'Algorithme d'optimisation des baleines (WOA) qui peut également être appliqué pour résoudre des problèmes d'optimisation multi-objectifs.

Le chapitre qui se suit représenté les résultats de simulation de notre travail, il explique clairement le processus algorithmique de ces méthodes et leur application dans l'optimisation d'écoulement de puissance avec l'intégration des sources d'énergies renouvelables.

CH IV

Application et Résultats

IV.1.Introduction:

Dans ce chapitre, on va tester le programme qu'est le dispatching économique optimal et l'écoulement de puissance en utilise les algorithmes des écosystèmes artificiels (AEO) ainsi que l'algorithme d'optimisation des baleines (WOA) sur des réseaux électriques, les méthodes qui tiennent compte de la nature quadratique de la fonction objective, analyser et optimiser les performances des réseaux électriques en utilisant les techniques d'optimisation à l'aide de l'environnement de Matlab.

Le problème de l'écoulement de puissance consiste à trouver la répartition des puissances sur les générateurs du réseau afin d'obtenir la puissance demandée sans tenir en compte le cout de production c.-à-d. Nous essayons d'expérimenter avec les deux méthodes pour trouver des solutions et chercher le plus bas niveau de coût et le plus rapide.

L'approche proposée a été mise en œuvre dans le présent document intitulé AEO. La mise en œuvre est effectué sur le système de test standard du bus IEEE 30 avec 6 groupes électrogènes, 41 lignes de transmission et la demande de charge est de 283,4 MW . La version Matlab 13 est utilisée tout au long de ce travail sur un ordinateur portable de processeur Intel Core i3-8130U, 12 MHZ, RAM 12 GB DDR4 (4G B utilisable, système d'exploitation 32 bits).

IV.2. Test et application :

IV.2.1. Sélection de paramètre :

- AEO :

L'algorithme AEO a un certain nombre de paramètres qui doivent être sélectionnés. Ceux-ci comprennent la taille de la population, l'itération maximale :

Taille de la population = 40,

MaxIteration = 200,

- WOA :

L'algorithme WOA a un certain nombre de paramètres qui doivent être sélectionnés. Ceux-ci comprennent le nombre d'agents de recherche, l'itération maximale :

- SearchAgents_no = 60,

- MaxIteration = 500,

IV.2.2. Réseau test Sonelgaz (ouest de l'Algérie) :

En Algérie, la plus grande partie de l'électricité est d'origine thermique (98.3%), le reste se répartissant entre les centrales hydro-électriques ou à diesel. Le transport de l'énergie s'effectue par transformation du courant triphasé produit à des tensions variables, en une tension unique de 220kV, distribuée avec des lignes haute tension. Des sources d'énergie renouvelables telles que le vent et le soleil produisent de l'énergie électrique dans les sites isolés de l'Algérie. Elles représentent cependant des quantités négligeables.

Nous avons testé le DEP en utilisant les algorithmes AEO et l'algorithme WOA sur la partie ouest du réseau algérien (220 kV) (figure IV.1). Ce réseau est composé de 12 jeux de barres dont deux de barres sont de type PV ayant pour fonctions coûts du carburant (en Nm³/h) pour les deux générateurs sont :

$$C_1 = 0.85 P_{g1}^2 + 150 P_{g1} + 2000 \text{ [Nm}^3\text{/hr]}$$

$$C_2 = 1.70 P_{g2}^2 + 250 P_{g2} + 3000 \text{ [Nm}^3\text{/hr]}$$

Où les puissances générées sont exprimées en (MW), et sont limitées via les contraintes suivantes :

$$30 \leq P_{g1} \leq 510$$

$$10 \leq P_{g2} \leq 70.0$$

La puissance demandée est égale à 505 MW. Les coefficients des puissances générées une comparaison des résultats obtenus par l'application de AEO et WOA avec ceux trouvés par les AG de type binaires [52] et les données de Sonelgaz sont rapportée dans les tableaux IV.1 et IV.2.

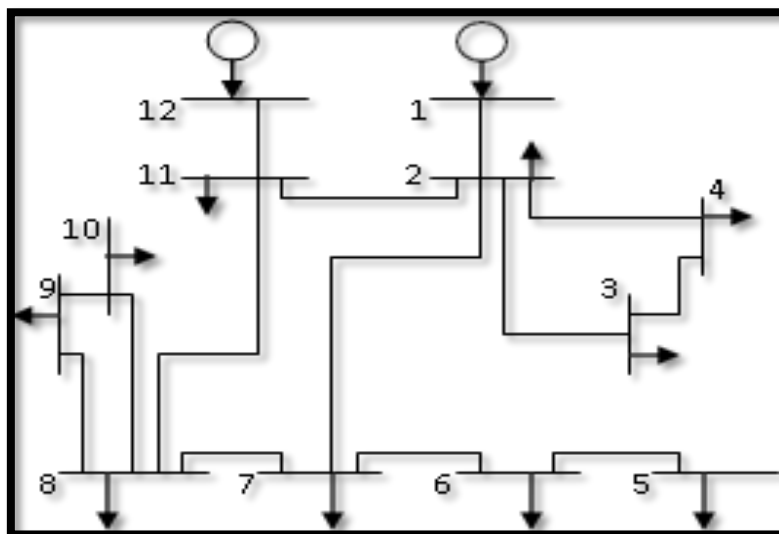


Figure IV.1 : Réseau électrique dans l'ouest de l'Algérie.

La charge totale était de 505 MW et les pertes de la ligne de transport étaient de 15,94 MW après calcul selon la méthode de Newton-Raphson [42, 47]. Deux cas ont été considérés. Dans le premier cas, les pertes de ligne de transmission ont été calculées et maintenues constantes, et dans la seconde, les pertes de ligne de transmission ont été considérées comme une fonction linéaire de la puissance réelle générée.

Tableau IV.1 : Données de ligne de transmission en p.u.

k – m	Impedance	Charge de ligne
1 - 2	0.000239 + j0.00115	j0.0075
2 - 3	0.017760 + j0.08657	j0.0645
2-4	0.025900 + j0.12890	j0.0959
2-7	0.013800 + j0.06700	j0.0498
2-11	0.003180 + j0.01544	j0.0464
3-4	0.012570 + j0.06100	j0.0455
5-6	0.022000 + j0.10710	j0.0597
6-7	0.014500 + j0.07052	j0.0797
7-8	0.015000 + j0.07347	j0.0525
8-9	0.011170 + j0.05400	j0.0403
8-10	0.014000 + j0.04828	j0.0342
8-11	0.029000 + j0.10117	j0.0712
9-10	0.011700 + j0.04095	j0.0290
11-12	0.008000 + j0.0277	j0.0196

Tableau IV.2 : Valeur d'état en p.u.

N°	Bus type	vrai pouvoir	puissance réactive
1	Charge	-	-
2	Charge	-0.70	-0.52
3	Charge	-0.32	-0.20
4	Charge	-0.33	-0.30
5	Charge	-0.35	-0.26
6	Charge	-0.30	-0.22
7	Charge	-0.35	-0.31
8	Charge	-0.54	-0.60
9	Charge	-1.38	-0.06
10	Charge	-0.08	-0.52
11	Charge	-0.70	-0.52
12	Production	0.55	0.18

IV.2.2.1. Calcul avec les pertes constantes (premier cas):

Les pertes de ligne de transmission ont été calculées et maintenues constantes ($P_L = 15,94$ MW). L'équation du bilan de puissance est alors devenue : $P_1 + P_2 = 520,94$ MW. Les

résultats pour la puissance optimale réelle générée, le coût de carburant minimum et le temps de calcul sont donnés dans le tableau IV.3.

Tableau IV.3 : Comparaison des résultats obtenus des AG du réseau ouest algérien de 1^{er} cas

	Fletcher-Reeves[49]	Fletcher [49]	Sonelgaz [49]	AG [52]	AEO	WOA
$P_1^{optimal}$ (MW)	466.65	469.93	465.94	450.95	450.94	450.9403
$P_2^{optimal}$ (MW)	54.25	49.98	55	69.00	70	69.9997
P_L (MW)	15.95	15.94	15.94	15.94	15.94	15.94
Coût (Nm ³ /h)	278649	279940	278319	271764	271315.8511	271315.9655
Temps(s)	0.01	0.01	/	0.05	2.64	3.43
N° itérations	8	3	/	304	40	60

Le tableau IV.3 expose une comparaison entre les trouvés par les méthodes d'optimisation (AEO) et (WOA),

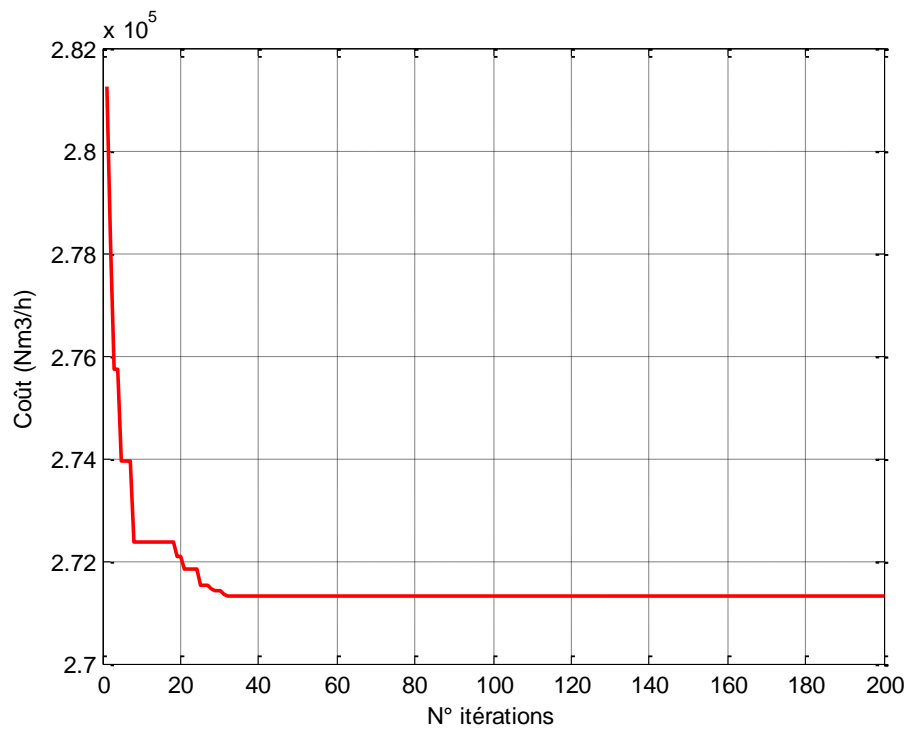


Figure IV.2 : la convergence de Valeur de la fonction de coût d'ouest du réseau algérien durant le processus de l' AEO

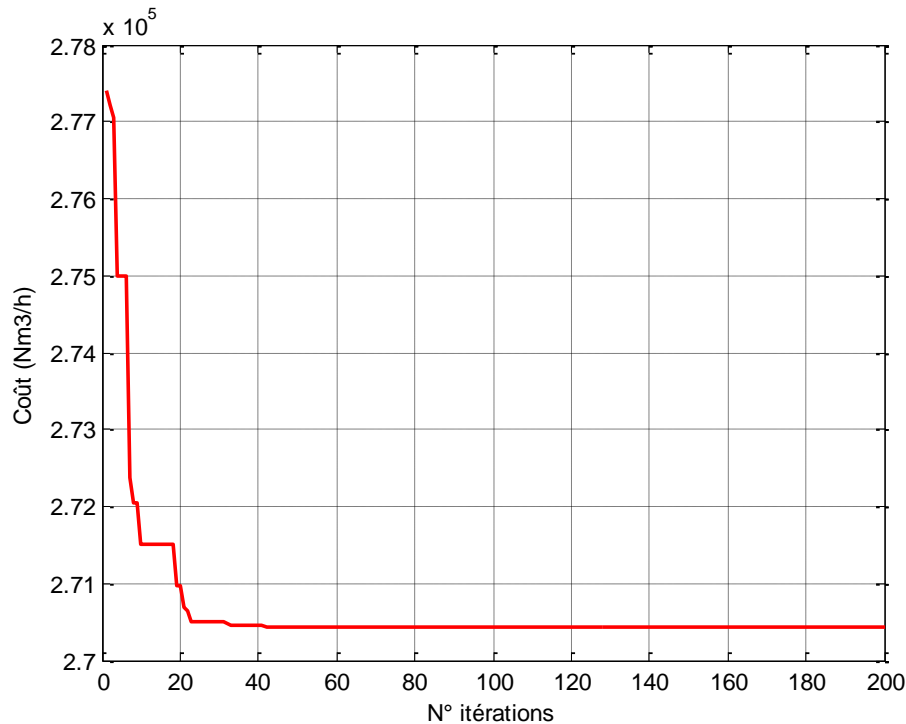


Figure IV.3 : la convergence la fonction de coût durant le processus de WOA.

IV.2.2.2. Calcul avec les pertes variables (deuxième cas) :

la fonction de perte est une fonction linéaire de la puissance réelle générée) : les pertes de ligne de transmission ont été considérées comme une fonction linéaire de la puissance réelle générée. Les coefficients ont été calculés en utilisant la méthode de Gauss-Seidel [48, 49]:

$$P_L = 0,0189 P_1 + 0,0924 P_2.$$

L'équation de bilan de puissance était donc de

$$0,9811P_1 + 0,9076P_2 = 505 \text{ MW.}$$

Tableau III.4 : Comparaison des résultats obtenus du réseau ouest algérien de 2^{ème} cas

	Fletcher-Reeves [49]	Fletche r [49]	Sonelgaz [49]	AG type binaire [52]	AEO	WOA
$P_1^{optimal}$ (MW)	465.37	468.92	465.94	450.41	449.9724	449.9944
$P_2^{optimal}$ (MW)	53.36	49.50	55	70.00	69.9999	69.9762
P_L (MW)	13.72	13.43	15.94	14.98	14.9724	14.9707
Coût (Nm ³ /h)	277067	278779	278319	270830	270429.8197	270438.3319
Temps(s)	0.05	0.01	/	/	2.95	3.16
N° itérations	25	3	/	/	50	150

Les puissances actives générées optimales, le coût minimal de combustible et les pertes totales (pour (AEO) et (WOA)) sont récapitulés dans le tableau IV.5.

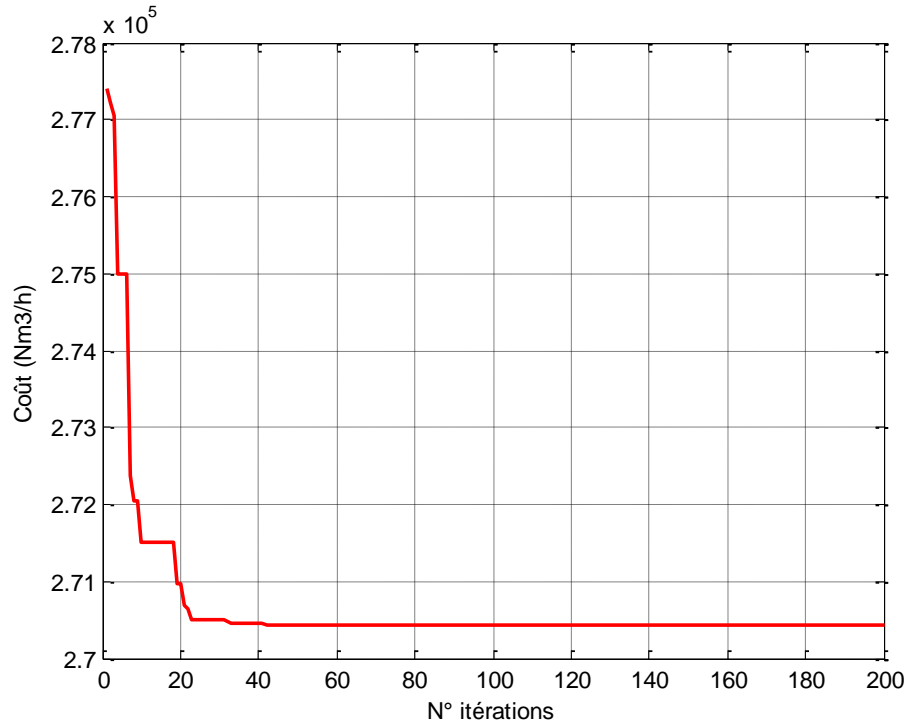


Figure. IV.4: la convergence de l'algorithme AEO.

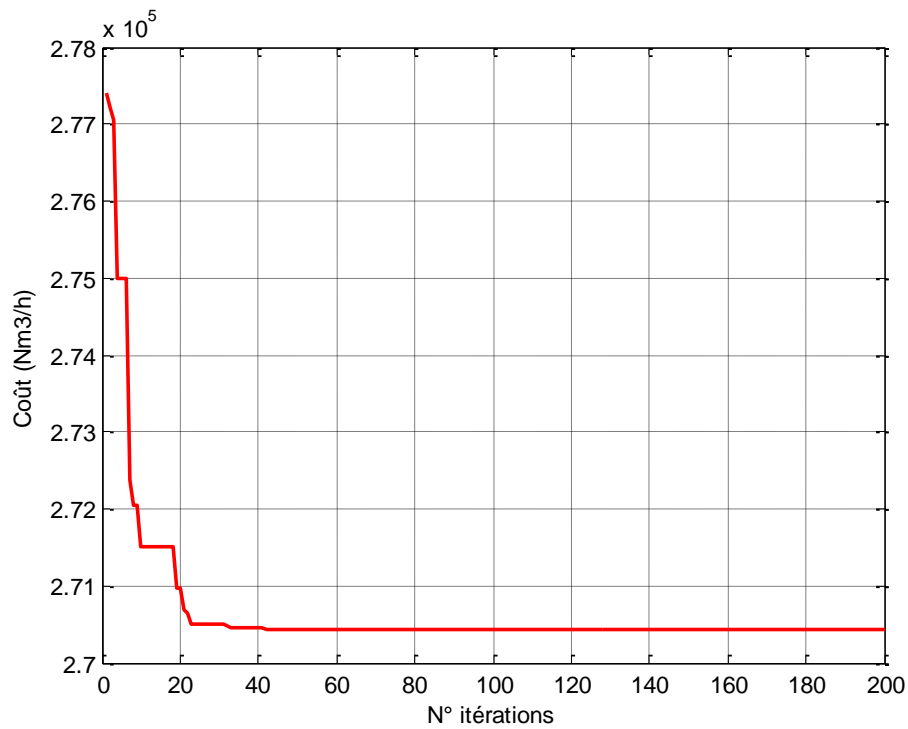


Figure. IV.5: la convergence de l'algorithme WOA.

On peut noter que les résultats obtenus avec AEO et WOA sont meilleurs que ceux de Sonelgaz. La méthode des algorithmes génétiques et la recherche d'un modèle donnent un

coût beaucoup plus bas comparé aux données de Sonelgaz, ces méthodes fournissent des solutions plus efficaces et supérieures.

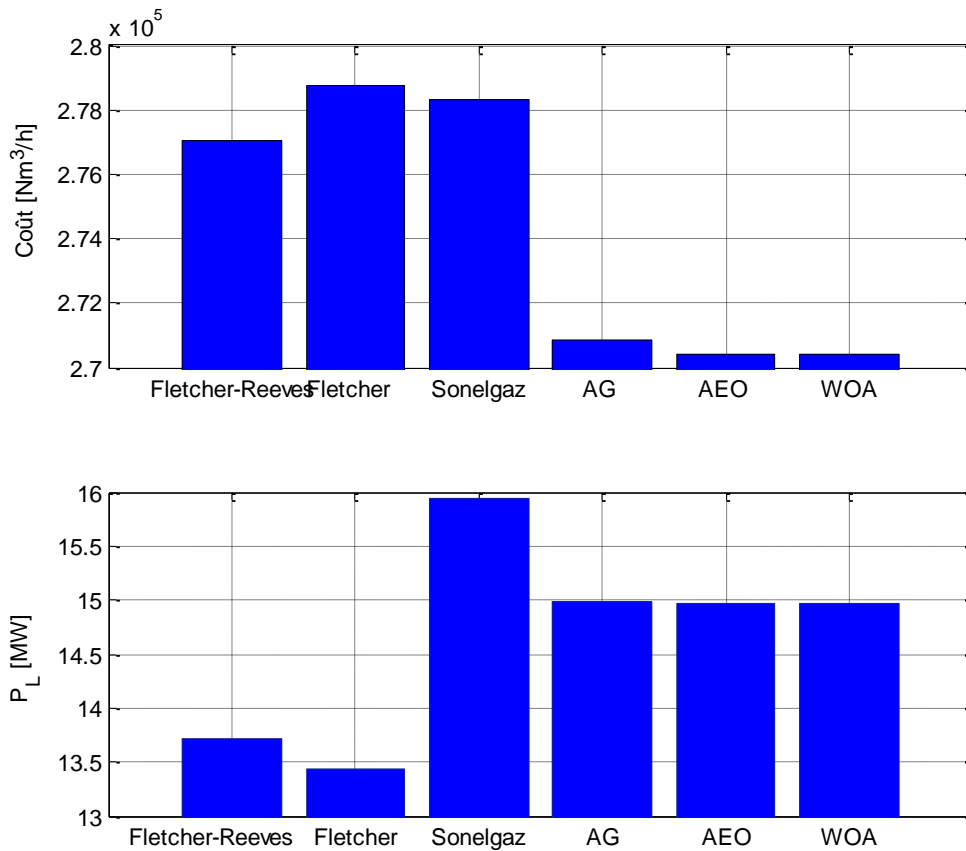


Figure IV.6 : Résultats sur le deuxième cas.

On peut constater que les résultats obtenus avec les AEO et WOA sont plus meilleurs que les données de Sonelgaz. La méthode des algorithmes génétiques donne un gain en combustible de $6637 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ (2.4%) par rapport aux données de Sonelgaz avec une réduction des pertes actives.. Cette réduction en combustible est très importante puisque si on la calcule pour un fonctionnement durant une année de 8760h, elle va donner une valeur très grand de l'ordre de $58.140 \cdot 10^6 \text{ Nm}^3$.

IV.2.3. Réseaux tests IEEE 30- bus système :

Le deuxième test est accompli sur un réseau électrique, appliqué sur le réseau test IEEE 30 bus qui représente une portion du système de puissance électrique américain (in the Midwestern US) pour Décembre 1961. Ce réseau électrique est constitué de 30 jeux de barres et 6 générateurs (aux jeux de barres $n=^{\circ} 1, 2, 5, 8, 11, \text{ et } 13$) injectant leurs puissances à un

système alimentant 20 charges à travers 41 lignes de transport (Figure IV.7). La tension de base pour chaque jeu de barres est de 135 KV [49].

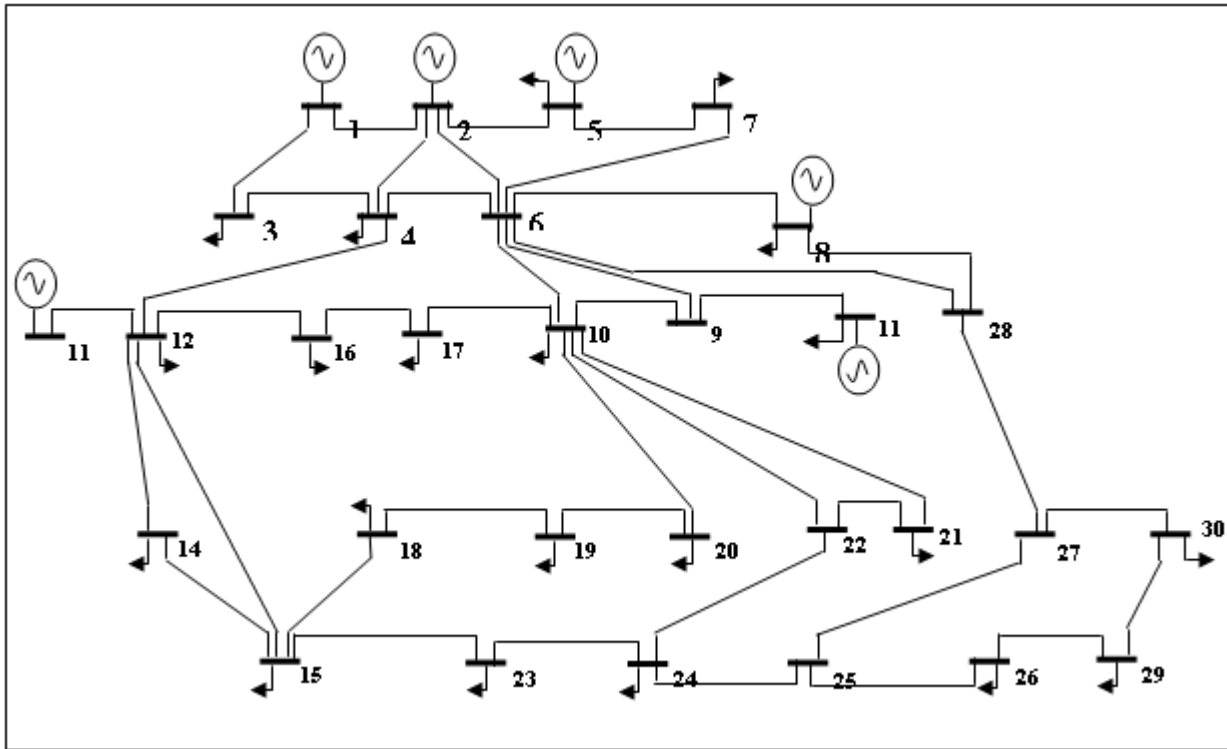


Figure.IV.7 : Schéma unifilaire du réseau électrique IEEE 30 bus.

Tableau. IV.5: Les données des fonctions de coût des 6 générateurs du réseau 30 bus

N° d'unité	P_{gi}		Q_{gi}		Coefficients de cout		
	Limit min (MW)	Limit max (MW)	Limit min (MVAR)	Limit max (MVAR)	γ (\$/MW2hr)	β (\$/MW2hr)	α (\$/hr)
1	50	200	-20	200	0.00375	2.00	0
2	20	80	-20	100	0.01750	1.75	0
5	15	50	-15	80	0.06250	1.00	0
8	10	35	-15	60	0.00830	3.25	0
11	10	30	-10	50	0.02500	3.00	0
13	12	40	-15	60	0.02500	3.00	0

B_{ij} coefficients des pertes de la matrice B . La matrice B_{ij} donne le résultat du calcul des coefficients des pertes et sont présentées dans le Tableau. IV.6

Tableau IV.6: Coefficients des pertes de la matrice B

$B_{ij} =$					
0.000218	0.000103	0.000009	-0.00010	0.000002	0.000027
0.000103	0.000181	0.000004	-0.000015	0.000002	0.000030
0.000009	0.000004	0.000417	-0.000131	-0.000153	-0.000107
-0.00010	-0.000015	-0.000131	0.000221	0.000094	0.000050
0.000002	0.000002	-0.000153	0.000094	0.000243	-0.00000
0.000027	0.000030	-0.000107	0.000050	-0.00000	0.000358
$B_{00} =$	-0.000003	0.000021	-0.000056	0.000034	0.000015
$B_0 =$	0.000014				

Comme montré dans le tableau IV.7, le coût de production de la puissance active a été réduit de -10.8% après optimisation par l'algorithme AEO, avec un gain financier de 96.412 \$/h. Malgré que les pertes de puissance active ont augmentées après l'optimisation, mais le gain financier reste le plus.

Tableau.IV.7: Puissances et coûts de production du réseau électrique à 30 J.B.

N° J.D.B	N-R	ACO[14]	GA[14]	AEO	WOA
1	98.7407	177.863	179.367	169.6566	187.3309
2	80.0000	43.8366	44.24	47.1013	47.74077
5	50.0000	20.893	24.61	20.4650	15
8	20.0000	23.1231	19.9	29.6828	13.9699
11	20.0000	14.0255	10.71	12.2474	17.0987
13	20.0000	13.1199	14.09	12.0203	12
Pertes (MW)	5.3407	9.4616	9.5177	7.7728	9.7404
Puissance générée (MW)	288.7407	292.8611	292.9169	291.1734	293.1404
Coût (\$/hr)	900.6128	803.12	803.699	799.1271	803.9902

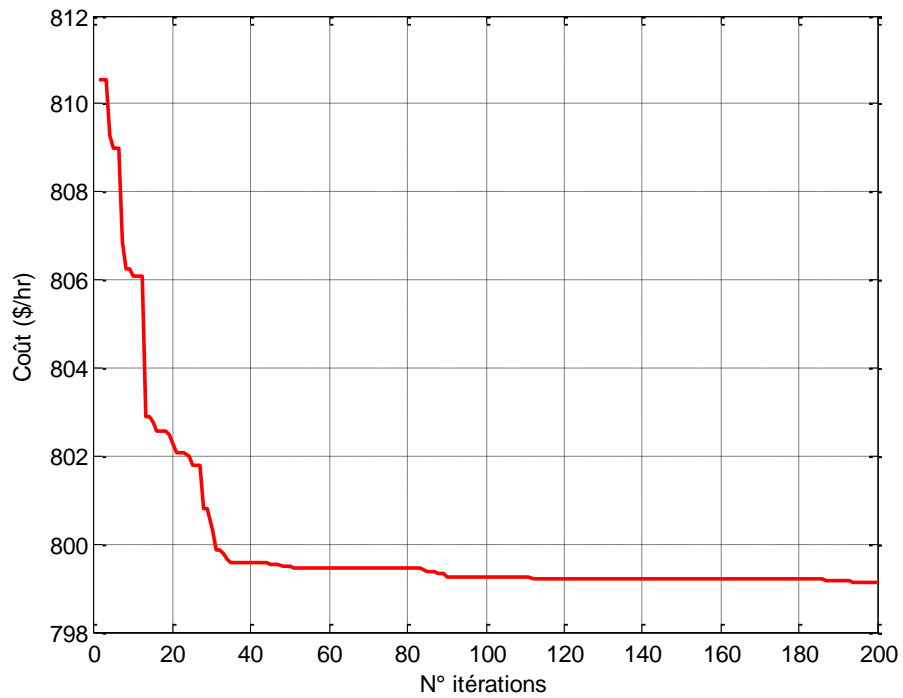


Figure. IV.8 : la convergence de l'algorithme AEO.

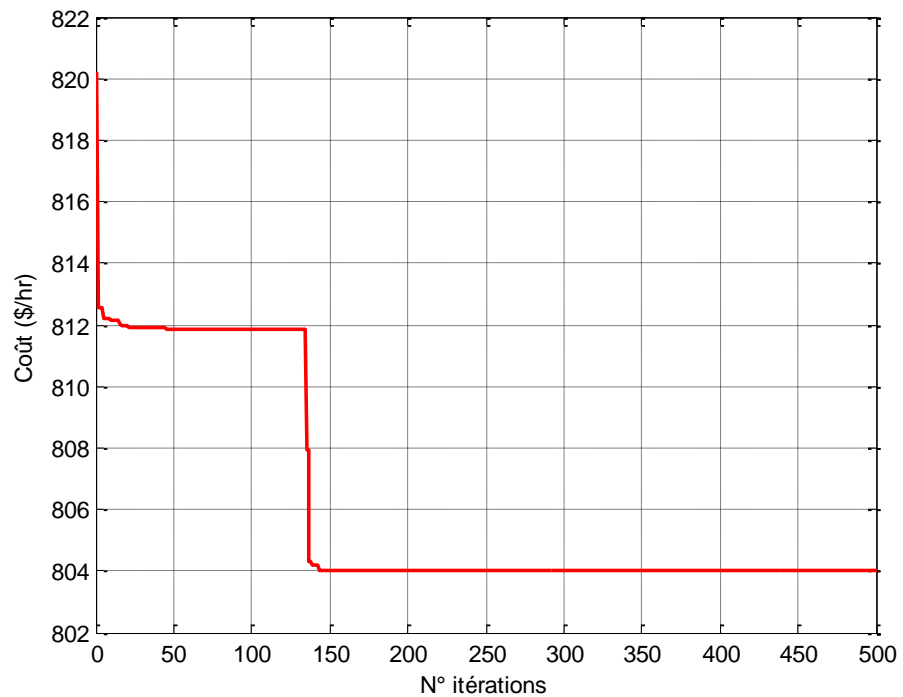


Figure. IV.9 : la convergence de l'algorithme WOA.

Les tableaux 3 et 4 présentent les résultats de comparaison tirés de [53,54] et de ceux obtenus par la nouvelle stratégie AEO. Les résultats illustrent une convergence significative des puissances de sortie, des pertes totales et du coût total.

Les résultats de AEO sont très compétitifs et fiables dans un temps de calcul est de 200 itérations

IV.4. Conclusion

Dans ce chapitre, on a testé les méthodes d'optimisation présentées dans le chapitre 3, donne une facilité de test avec efficacité les différentes méthodes d'optimisation sur des réseaux tests de tailles différentes. Les résultats d'application des algorithmes AEO et WOA sur les réseaux tests montrent qu'on peut adapter en temps réel du moment que la convergence est très rapide.

Des méthodes de test pour l'optimisation des coûts, et un test facile de différentes méthodes d'optimisation sur des réseaux de test de différentes tailles (30.J.D.B). Les résultats de l'application des algorithmes AEO et WOA dans le premier test apparaissent sous la forme de comparaisons entre les résultats de l'Algérien Electricité comptant.

Conclusion générale

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette recherche nous a permis de connaître les problèmes des réseaux électriques à travers le flux d'énergie et d'améliorer le coût à travers certaines applications sur les méthodes de calcul. Le présent travail nous a permis la minimisation du coût de production de l'énergie électrique qui est connue du point de vue économique sous le nom « Dispatching Optimal».

L'importance de cette méthode est l'économie de l'énergie électrique qui nous ramène à un bilan de puissances équilibré entre la génération et la consommation.

Cette mémoire décrit une nouvelle approche hybride basée sur une combinaison d'algorithme génétique (GA) et de recherche de modèle (PS) pour étudier les problèmes de répartition économique des systèmes d'alimentation. Des cas de test de remorquage (PS et GA-PS) ont été étudiés et des comparaisons de la qualité de la solution et des performances ont été effectuées .

La technique GA–PS a surmonté un inconvénient important des méthodes PS, à savoir la nécessité de fournir un point de départ approprié. Cette lacune des méthodes de PS a été soulignée dans les travaux antérieurs des auteurs, car elle rend toute méthode d'optimisation reposant sur un bon choix du point initial probablement plus susceptible d'être piégée dans des minima locaux, bien que la vitesse de calcul nettement améliorée permette des gains supplémentaires. des recherches à faire pour augmenter la confiance dans la solution.

En revanche, l'algorithme hybride GA –PS n'oblige pas l'utilisateur à spécifier le point de départ car il est généré automatiquement pour l'étape PS par la phase initiale GA. De plus, les performances de la méthode hybride proposée s'améliorent avec l'augmentation de la taille et de la complexité du système. Dans l'ensemble, il a été démontré que l'algorithme proposé fonctionnait extrêmement bien pour résoudre les problèmes de répartition économique.

Nous estimons que ce travail sera un pas dans le développement et l'implantation des techniques modernes pour résoudre le problème de D.E.O basées sur les méthodes hybrides et que ce mémoire viendra. Enrichir la bibliothèque de la depa de l'électrotechnique.



Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Benayed. F. Z, Rahli. M, Abdelhakem-Koridak. L, «Optimisation du dispatching économique par l’algorithme harmony search», Midiamira science publisher, Volume 52, number 1, 2011.
- [2] Jean-Paul Barret, Pierre Bornard, brumo meyer, «Simulation des réseaux électrique»
- [3] Jean-Claude Sabonnadiere et Noureddine Hadj Saïd, « lignes et réseaux électrique 2» Lavoisier 2007.
- [4] Ammour Djamel, «Mise en œuvre d’un outil de calcul de l’écoulement de puissance dans les réseaux électrique», mémoire de fin d’étude d’ingénieur d’état en électronique, U.M.M.T.O, 2008.
- [5] Jean Claude sabonnadiere, « lignes et réseaux électriques 1 », Lavoisier, 2007.
- [6] N.Ourek, « Détermination des indicateur permettant d’évaluer la stabilité en tension des réseaux électrique », Mémoire de Magister, Juin 2004
- [7] D.Koch, « Manœuvre et protection des batteries de condensateurs MT », catalogue, juillet 2005.
- [8] M.Crappe, « Stabilité et sauvegarde des réseaux électrique », Lavoisier, 2003.
- [9] Saim Nabila, « Restructuration du réseau électrique moyenne tension 30KV de la région AZAZGA », mémoire d’ingénieur d’état en électrotechnique, U.M.M.T.O, 2010.
- [10] Sayah « Application de l’intelligence artificiel pour le fonctionnement », Université de Sétif, thèse de doctorat, 2010.
- [11] John Willy, B.M.Weedy, « Electric power Systems »,Third edition revised.
- [12] P.Kundur « Power system stability and control», Department of Electrical an computer Engineering , University of Toronto, Ontario.
- [13] Rezig Missoum « Etude d’un dispatching économique des puissances actives par les algorithmes de fourmis » Mémoire de Magister, Université Hassiba Ben Bouali chelf Algérie, 2009.
- [14] M. Ebeed, S. Kamel, and F. Jurado, “Optimal Power Flow Using Recent Optimization Techniques,” pp. 157–183, 2018, doi: 10.1016/B978-0-12-812441-3.00007-0.
- [15] Z. Qiu, G. Deconinck, and R. Belmans, “A literature survey of optimal power flow problems in the electricity market context,” 2009, doi: 10.1109/PSCE.2009.4840099.
- [16] M. Huneault and F. D. Galiana, “A Survey Of The Optimal Power Flow LiteratureA Survey Of The Optimal Power Flow Literature,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 6, no. 2, pp. 762–770, 1991doi: 10.1109/59.76723.

- [17] L. SLIMANI, "Contribution à l'application de l'optimisation par des méthodes métaheuristiques à l'écoulement de puissance optimal dans un environnement de l'électricité dérégulé.," BATNA, 2009.
- [18] W. Zhao and L. Wang, "Artificial ecosystem-based optimization : a novel nature-inspired meta-heuristic algorithm," vol. 52, 2019, doi: org/10.1007/s00521-019-04452-x.
- [19] W. Zhao, L. Wang, and Z. Zhang, Artificial ecosystem-based optimization: a novel natureinspired meta-heuristic algorithm, vol. 32, no. 13. Springer London, 2020.
- [20] B. Lacosere, "A hybrid whale algorithm and pattern search technique for optimal power flow problem," no. 5, pp. 1048–1053, 2016.
- [21] M. Shehab, L. Abualigah, H. Al Hamad, H. Alabool, M. Alshinwan, and A. M. Khasawneh, "Moth–flame optimization algorithm: variants and applications," Neural Comput. Appl., vol. 32, no. 14, pp. 9859–9884, 2020, doi: 10.1007/s00521-019-04570-6.
- [22] R. K. Krishna and B. S. Ramanjaneyulu, "Gorilla Optimization Based Clustering and Fittest Node Routing Technique for Improving the Lifetime of Wireless Sensor Network," no. 5, pp. 2019, 185–180.
- [23] Y. Himri, A. S. Malik, A. Boudghene Stambouli, S. Himri, and B. Draoui, "Review and use of
- [24] the Algerian renewable energy for sustainable development," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 13, no. 6–7, pp. 1584–1591, 2009, doi: 10.1016/j.rser.2008.09.007.
- [25] J. A. Momoh et al., "Challenges to optimal power flow," IEEE Trans. Power Syst., vol. 12, no. 1, pp. 444–447, 1997, doi: 10.1109/59.575768.
- [26] S. Sayah, "Application de l'intelligence artificielle pour fonctionnement optimal des systèmes électriques le," Université de Sétif, 2010.
- [27] A. Y. (Regn. N. 800841004), U. S. K. Jain, E. J., "multiobjective optimal power flow Master Thesis of Engineering in Power Systems & Electric Drives Thapar," 2010. University patiala Assistant professor, and electrical and instrumentation engineering department thapar university patiala-147004
- [28] H. Glavitsch and R. Bacher, "Optimal power flow problem The ordinary power flow," Technology, vol. 41, pp. 135–205, 1991.
- [29] "Development of an Efficient Calculation Method Based on Evolutionary Programming for Optimal Power Flow Considering Transient and Voltage Stabilities," no. December, 2009.
- [30] J. D. Weber, "Implementation of a Newton-based Optimal Power Flow into a power system simulation environment," UnIII. Illinois, vol. 2, p. 92, 1997.

- [31] U. Ferhat, A. Setif, and S. Mouassa, "Option : Réseaux Electriques Par : Optimisation de l'écoulement de puissance par une méthode métaheuristique (technique des abeilles) en présence d'une source renouvelable (éolienne) et des dispositifs FACTS," Université ferhat abbas setif - (algerie), 2012.
- [32] Ilhem boussaïd, "perfectionnement de métaheuristicques pour l'optimisation continue," parisest créteil, 2013.
- [33] Ahmed Ould Nagi, "Optimisation de l'écoulement de puissance Par algorithmes : AG et PSOTVAC, Master en électrotechnique," Mohamed Khider Biskra, 2014.
- [34] W. Zhao and L. Wang, "Artificial ecosystem-based optimization : a novel nature-inspired meta-heuristic algorithm," vol. 0123456789, 2019.
- [35] S. Mouassa, F. Jurado, T. Bouktir, M. Asif, and Z. Raja, "Novel Design of Artificial Ecosystem Optimizer for Large-scale Optimal Reactive Power Dispatch Problem with application to Algerian Electricity Grid," Future Technology Research Center, National Yunlin University of Science and Technology, 123 University Road, Section 3, Douliou, Yunlin 64002, Taiwan, R.O.C.
- [36] S. Adhirai, R. P. Mahapatra, and P. Singh, "The Whale Optimization Algorithm and Its Implementation in MATLAB," *Int. J. Comput. Inf. Eng.*, vol. 12, no. 10, pp. 815–822, 2018.
- [37] S. Mirjalili, "Moth-flame optimization algorithm: A novel nature-inspired heuristic paradigm," *Knowledge-Based Syst.*, vol. 89, pp. 228–249, 2015, doi: 10.1016/j.knosys.2015.07.006.
- [38] B. Abdollahzadeh, F. Soleimani Gharehchopogh, and S. Mirjalili, "Artificial gorilla troops optimizer: A new nature-inspired metaheuristic algorithm for global optimization problems," *Int. J. Intell. Syst.*, vol. 36, no. 10, pp. 5887–5958, 2021, doi: 10.1002/int.22535.
- [39] A. Ginidi, S. M. Ghoneim, A. Elsayed, R. El-Sehiemy, A. Shaheen, and A. El-Fergany, "Gorilla Troops Optimizer for Electrically Based Single and Double-Diode Models of Solar Photovoltaic Systems," *Sustainability*, vol. 13, no. 16, p. 9459, 2021, doi: 10.3390/su13169459.
- [40] M. R. AlRashidi and M. E. El-Hawary, "Hybrid particle swarm optimization approach for solving the discrete OPF problem considering the valve loading effects," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 22, no. 4, pp. 2030–2038, 2007, doi: 10.1109/TPWRS.2007.907375.
- [41] Sayah Samir, *Application des Ensembles Flous à la Repartition Optimale de la Puissance Dans les Réseaux Electriques*, Mémoire de magister, université de setif (2005)

- [42] M.Dris et G.Mohammed et F.Abelhamid, Calcul de l'écoulement de Puissance Par, La Méthode GAUSS –SAIDEL, Mémoire de fin d'étude université de Biskra Promotion (1996)
- [43] [3] Z.F.Fethi et G.Abdelmalek et D.Mohammed, L'application de la Méthode Newton-Raphson à L'écoulement de Puissance Dans Le Système Electrique, Mémoire de fin d'étude université EL-OUDE Promotion (2007)
- [44] Mr. Benatous.D, Cours de TEC 533, Promotion (2007/2008)
- [45] M.Gaboussa et B. Boubaker, Echange Economique de Puissance entre des Réseaux Electrique», Mémoire de Fin d'Etudes pour l'obtention du Diplôme d'ingénieur d'Etat en Electrotechnique, Université Biskra, Promotion 2004.
- [46] A.Messaouoi, Dispatching Economique Des Reseaux Electrique Par Les Méthodes Numériques, de magister, université de Batna (2001)
- [47] S.Touil et A.Boulbir, Analyse de la stabilité transitoire d'un réseau électrique, Mémoire de fin d'étude centre universitaire d'Oum El-bouaghi (promotion 2001)
- [48] ALLEN W.stagg, Ahmed H EL-Abier, Computer methods in power system analysis», International Student Edition.
- [49] H. Wayne Beaty, Handbook of Electric Power Calculations, New York, NY: McGrawHill, Inc., 2001.
- [50] P. Kundur, Power System Stability and Control, New York, NY: McGraw Hill, Inc., 1994.
- [51] T. Bouktir, Application de la Méthode du Gradient à l'Optimisation de l'Écoulement de Puissance, Mémoire de magistère, université d'Annaba, Algérie, 1998.
- [52] N. Barka et Y.Labbi, Etude Et Analyse Du Problème De Dispatching Economique Par Les Algorithmes Génétiques, Mémoire de Fin d'Etudes pour l'obtention du Diplôme d'ingénieur d'Etat en Electrotechnique, Université Biskra, Promotion 2005.
- [53] Hooke R, Jeeves TA. Direct search solution of numerical and statistical problems. J Assoc Comput Machin 1961; 8,pp. 212–29.
- [54] R. M. Lewis, V. Torczon, and M. W. Trosset, Direct search methods: then and now, Journal of Computational and Applied Mathematics, vol. 124, 2000, pp. 191-207.
- [55] N. Thenmozhi and D. Mary, Economic emission load dispatch using hybrid Genetic Algorithm, Chiang Mai, Thailand, 2004, pp. 476-479 .
- [56] W. Ongsakul and T. Tantimaporn, Optimal powers flow by improved evolutionary programming, Elect. Power Comp. and Syst, Vol. 34, 2006, pp. 79-95 .

[57] J. Yuryevich, K. P. Wong, Evolutionary Programming Based Optimal Power Flow Algorithm; IEEE Transaction on power Systems, Vol. 14, No. 4, November 1999.